



TUGAS AKHIR - TM 141585

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI
PENAMBAHAN FRAKSI VOLUME ABU TERBANG
(*FLY ASH*) TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN
NILAI LAJU KEAUSAN ALUMINIUM MATRIX
COMPOSITE**

**HENDRA DWI WIJAYA
NRP 2109 100 137**

**DOSEN PEMBIMBING
Indra Sidharta, ST., M.Sc**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015**



FINAL PROJECT - TM 141585

**EKSPERIMENTAL STUDY VARIATION EFFECT
ADDITION FRACTION VOLUME FLY ASH TO
SPECIFIC WEAR RATE AND HARDNESS
ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE**

**HENDRA DWI WIJAYA
NRP 2109 100 137**

**Advisor Lecturer
Indra Sidharta, ST., M.Sc**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya
2015**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI
PENAMBAHAN FRAKSI VOLUME ABU
TERBANG (*FLY ASH*) TERHADAP NILAI
KEKERASAN DAN NILAI LAJU KEAUSAN
ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE**

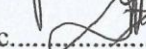
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Bidang
Metalurgi
Program Studi S-1
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

HENDRA DWI WIJAYA
NRP. 2109100137

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Indra Sidharta, ST, MSc..... (Pembimbing)
2. Dr. Ir. Soeharto, DEA..... (Penguji 1)
3. Dr. Sutikno, ST, MSc..... (Penguji 2)
4. Ir. Hari Subiyanto, MSc..... (Penguji 3)



SURABAYA
JANUARI, 2015

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN FRAKSI VOLUME ABU TERBANG (*FLY ASH*) TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN NILAI LAJU KEAUSAN ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE

Nama Mahasiswa : Hendra Dwi Wijaya
NRP : 2109 100 137
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Indra Sidharta, ST, MSc

ABSTRAK

Aluminium Matrix Composite merupakan salah satu hasil dari perkembangan dari ilmu komposit dimana terdiri dari aluminium sebagai matriks dan penguat (*reinforcement*). Hal ini sangat berguna karena material akan mempunyai karakteristik yang berbeda dari matriksnya. Salah satu material penguat yang dapat digunakan adalah Abu terbang (*fly ash*), abu terbang dengan harga yang murah, densitas ringan, kekerasan dan tahan aus yang baik, cocok digunakan sebagai penguat untuk bahan yang membutuhkan ketahanan terhadap aus yang tinggi, contohnya liner piston.

Penelitian ini meneliti pengaruh penambahan abu terbang terhadap sifat mekanik dan struktur mikro dari *Aluminium Matrix Composite* dengan variasi penambahan abu terbang pada kadar 10%, 15%, 20% dan 25%. Penelitian dilakukan dengan melelehkan aluminium pada temperatur 900°C kemudian ditambahkan abu terbang dan dicampur dengan metode *Stir Casting* dengan putaran 350 rpm dan waktu pencampuran selama 10 menit. Campuran yang telah jadi kemudian dituang ke dalam cetakan dan didinginkan.

Dari penelitian kali ini didapatkan data nilai kekerasan yang meningkat dari prosentase abu terbang 0% - 15% dengan nilai kekerasan tertinggi pada prosentase abu terbang 15% kemudian terjadi penurunan nilai kekerasan pada prosentase abu terbang 20% - 25%. Peningkatan nilai kekerasan ini terjadi karena

adanya pembatasan pergerakan dislokasi matriks, interface dan *coefficient of thermal* matriks. Sedangkan penurunan nilai kekerasan disebabkan oleh tidak maksimalnya penguat menghalangi dislokasi matriks dan porositas. Sedangkan nilai laju keausan berbanding terbalik dengan dengan nilai kekerasan spesimen. Dimana terjadi penurunan laju keausan pada prosentase abu terbang 0% - 15% dengan laju keausan terendah terjadi pada prosentase 15% kemudian terjadi kenaikan laju keausan pada prosentase 20% - 25%. Penurunan laju keausan ini terjadi karena nilai kekerasan yang lebih tinggi, partikel penguat sebagai penerima beban dan pencegah *plastic deformation* dan adanya *cenosphere* yang memperkecil nilai koefisien gesekan. Sedangkan peningkatan nilai laju keausan terjadi karena pelepasan penguat dari matriks, *ploughing* dan *cutting* yang dilakukan partikel yang terperangkap diantara pin dan disk dan berkumpulnya partikel penguat.

Kata kunci : *aluminium matrix composite*, abu terbang (*fly ash*), *hardness*, *wear rate*, struktur mikro.

EKSPERIMENTAL STUDY VARIATION EFFECT ADDITION FRACTION VOLUME FLY ASH TO SPECIFIC WEAR RATE AND HARDNESS ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE

Name: Hendra Dwi Wijaya

NRP: 2109 100 137

Major: Mechanical Engineering

Supervisor: Indra Sidhartha, ST, MSc

ABSTRACT

Aluminum Matrix Composites is one result of the development of science in which the composite is composed of aluminum as a matrix and reinforcement (reinforcement). This is very useful because the material will have different characteristics from the matrix. One material amplifier that can be used is fly ash (fly ash), fly ash with low price, light density, hardness and good wear-resistant, suitable for use as reinforcement for materials that require high wear resistance, eg piston liner.

This study examines the effect of the addition of fly ash on mechanical properties and microstructure of Aluminum Matrix Composites with the addition of fly ash variation in levels of 10%, 15%, 20% and 25%. The study was conducted with the aluminum melt at a temperature of 900°C was then added and mixed with fly ash on Stir Casting method with 350 rpm rotation and mixing time for 10 minutes. The finished mixture then poured into a mold and cooled.

Present study result shows hardness value increases in the percentage of fly ash 0% - 15% with the highest hardness value in the percentage of 15% fly ash and then decreases in the value of hardness in the fly ash percentage 20% - 25%. Its ascent value of this hardness occurs because there is a restrictions on the movement of dislocations matrix, and the coefficient of

thermal interface matrix. meanwhile its value drop caused by the maximum hardness amplifier dislocation blocking matrix and porosity. While the value of the wear rate is inversely proportional to the hardness of the specimen. Where the dropping value in the rate of wear and tear on the percentage of fly ash 0% - 15% with the lowest wear rate occurred in the percentage of 15% and an increase in the rate of wear and tear on the percentage of 20% - 25%. The value drop occurs because the wear rate is higher hardness values, the particles as a receiver amplifier load and prevention of plastic deformation and their cenosphereI that reduce the coefficient of friction. While the ascent in the value of the rate of wear and tear occurs due to the release of matrix amplifier, plowing and cutting has been done particles that trapped between the pin and the disc and the gathering booster particles.

Keyword : aluminium matrix composite, abu terbang (fly ash), hardness, wear rate, struktur mikro

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada “*Gusti Pengeran*” Allah SWT yang tiada henti memberikan rahmat, hidayah, dan kasih Nya hingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN FRAKSI VOLUME ABU TERBANG (*FLY ASH*) TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN NILAI LAJU KEAUSAN ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE.** Pada kesempatan ini penulis bermaksud untuk mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayahanda **Sunarno**. Terima kasih telah bersedia menjadi motivator paling hebat sedunia, teman diskusi, penata pola pikiran, pendidik, dan penyandang dana keperluan penulis, sujud sungkemku untuk ayah dan ibu.
2. Ibunda **Sutiah**, untuk segala doa, restu, kasih sayang, pengorbanan, motivasi, materi, dan masih banyak lagi yang selalu dilimpahkan kepada penulis.
3. **Indra Sidharta ST, MSc** selaku dosen pembimbing tugas akhir ini. Terima kasih untuk semua solusi saat banyak masalah timbul, waktu yang diberikan ditengah – tengah kesibukan, kritik, saran, dan motivasi yang bapak berikan. Tanpa bapak, saya masih menyandang status mahasiswa S1 di jurusan ini.
4. Bapak **Dr.Ir.Soeharto DEA** yang sangat teliti dalam penulisan, pak **Dr Sutikno, ST, MT** atas pertanyaan sulit yang penuh logika, dan pak **Ir, Hari Subiyanto, MSc.** atas kritik dan saran yang membangun. Terima kasih penulis haturkan kepada beliau bertiga yang menyempatkan waktu untuk menjadi dosen penguji tugas akhir serta selalu sabar dalam asistensi revisi.
5. **Dr. Harus Laksana Guntur, ST, M eng.** selaku dosen wali yang telah memberikan bantuan selama awal perkuliahan

sampai akhirnya penulis dapat menyelesaikan kuliah jenjang S-1 di Teknik Mesin ITS.

6. Saudara saudaraku **Beny Andika dan seluruh anggota keluarga besar bapak Wakidi** atas doa dan motivasinya.
7. Semua rakyat republik lab metalurgi **Bustan, Rahadyan, Esya, Dewangga, Bilal, Rio, Elli, Safira, Budhita, Zahra** serta semua warga metalurgy yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu. terima kasih telah berbagi ilmu, suka, duka, pengalaman, tempat tinggal, semuanya.
8. Semua karyawan Lab Metallurgy dan kerabat, **Pak Gatot, Pak Mantri, Pak Nandang, Mas Agus, Pak Budi, Mas Faisal, Mas Resa, Pak No, Pak Mul, Pak Somad, Cak Gofur, dan semuanya**. Terima kasih telah membantu dalam banyak hal.
9. Kepada **Rachmad Nur Jatmiko, Fatchur, Farouq, Enggar, Dimas, Bilal, Andika, Fajar** dan seluruh **angkatan M52** yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang mengajarkan banyak pelajaran hidup.
10. Serta semua pihak yang telah memberikan dukungan serta bantuannya dan tidak bisa disebutkan satu per satu di halaman ini.

Penulis sadar bahwa penulisan tugas akhir ini memiliki banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan dan kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua. Amin.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL

ABSTRAK

HALAMAN PENGESAHAN

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4

BAB II DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka	5
2.2. Dasar Teori	12
2.1.1. Komposit	12
2.2.1.1. Matriks	12
2.2.1.2. Penguat (<i>Reinforce</i>)	13
2.3. Kemampubasahan (<i>wettability</i>) dan <i>Interface</i>	14
2.4. Aluminium	15
2.4.1. Sifat Fisik Aluminium	15
2.4.2. Sifat Kimia Aluminium	16
2.5. <i>Metal Matrix Composite</i>	17
2.6. <i>Aluminium Matrix Composite</i>	17
2.7. Abu terbang (<i>fly ash</i>)	18
2.7.1. Susunan Kimia Abu Terbang	20
2.7.2. Sifat Fisik Abu Terbang	21
2.7.3. Komposisi Kimia Abu Terbang PLTU-Paiton	22
2.8. Produksi <i>Metal Matrix Composite</i>	23

2.8.1 Proses <i>Stir Casting</i>	25
2.9. Perhitungan Komposit	26
2.9.1. Karakteristik Umum	26
2.9.2 Perhitungan komposit	27

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir	29
3.2. Alat dan bahan	30
3.2.1 Alat	30
3.2.2 Bahan	32
3.3. Variabel Penelitian	33
3.4. Pembuatan Aluminium <i>Matrix Composite</i>	35
3.4.1. Pengecoran Spesimen.....	35
3.4.2. Pengadukan	35
3.4.3. Penuangan-Shaping-Forming	35
3.5. Pengujian Spesimen	36
3.5.1. Pengamatan Struktur Mikro	36
3.5.2. Pengujian Kekerasan	36
3.5.3. Pengujian Keausan	37

BAB IV DATA HASIL PENELITIAN

4.1. Hasil Uji Komposisi Kimia	41
4.2. Pengamatan Permukaan Spesimen	41
4.2.1. Pengamatan Struktur Mikro Pada Spesimen ...	41
4.3. Hasil Pengujian Hardness dan Keausan	43
4.4. Pengamatan Permukaan Hasil pengujian Keausan ...	46

BAB V ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

5.1. Uji Komposisi Kimia Aluminium	49
5.2. Analisa Struktur Mikro Akhir Dari Adanya Penambahan Volume Abu Terbang Fraksi Volume Pada <i>Alluminium Matrix Composite</i>	49
5.3. Pengaruh Penambahan Penguat Abu Terbang Terhadap Nilai Kekerasan dan nilai Laju Keausan Aluminium Matriks Komposit	50

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan	55
6.2. Saran	56

DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Laju Keausan	11
Tabel 2.2 Sifat-Sifat aluminium	16
Tabel 2.3 Susunan Kimia dan Sifat Fisik Abu Terbang	20
Tabel 2.4 Karakteristik Hasil Pengujian Abu Terbang	23
Tabel 3.1 Komposisi Campuran Bahan.....	33
Tabel 3.2 Massa penyusun campuran bahan untuk masing - masing ukuran butiran partikel Fly Ash	34
Tabel 3.3 tabel nilai kekasaran matrial pengujian keausan	37
Tabel 4.1. tabel komposisi kimia penyusun aluminium hasil uji komposisi kimia	41
Tabel 4.2. Tabel data pengujian <i>Hardness</i> dan keausan	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik <i>Alumunium matrix composite</i>	5
Gambar 2.2 Foto Struktur Mikro Pada Permukaan <i>Aluminium Matrix Composite</i>	6
Gambar 2.3 Hasil uji SEM Spesimen Dengan Kadar Penambahan Abu Terbang	8
Gambar 2.4 Pengaruh ukuran butiran Fly Ash	9
Gambar 2.5 Pengaruh panjang lintasan terhadap laju keausan	11
Gambar 2.6 Pembagian komposit berdasarkan penguat	14
Gambar 2.7 Hasil <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) Abu Terbang	21
Gambar 2.8 Skema klasifikasi pembuatan komposit	24
Gambar 2.9 Mekanisme Proses <i>Stir casting</i>	26
Gambar 3.1 Diagram Alir percobaan	29
Gambar 3.2 <i>Electric Furnace</i>	30
Gambar 3.3 <i>Mixer</i>	30
Gambar 3.4 <i>Tribometer pin on disk</i>	31
Gambar 3.5 Sendok panjang	31
Gambar 3.6 Aluminium foil	31
Gambar 3.7 timbangan digital	32
Gambar 3.8 Alumunium	32
Gambar 3.9 Bubuk Fly Ash	33
Gambar 3.10 spesimen hasil pengecoran	36
Gambar 3.11 Titik Pengujian Kekerasan dan gambar spesimen uji	37
Gambar 3.12 Desain pin	38
Gambar 3.13 Desain disk	38
Gambar 3.14 Bagian-bagian dari alat tribometer tipe pin on disk	39
Gambar 4.1. gambar struktur mikro aluminium murni pembesaran 100x	41

Gambar 4.2. gambar struktur mikro aluminium abu terbang 10% pembesaran 100x	42
Gambar 4.3. gambar struktur mikro aluminium abu terbang 15% pembesaran 100x	42
Gambar 4.4. gambar struktur mikro aluminium abu terbang 20% pembesaran 100x	43
Gambar 4.5. gambar struktur mikro aluminium abu terbang 25% pembesaran 100x	43
Gambar 4.6. grafik nilai rata-rata uji hardness	45
Gambar 4.7. grafik nilai rata-rata uji keausan	45
Gambar 4.8. aluminium murni	46
Gambar 4.9. aluminium abu terbang fraksi volume 10 %	47
Gambar 4.10. aluminium abu terbang fraksi volume 15 %	47
Gambar 4.11. aluminium abu terbang fraksi volume 20 %	47
Gambar 4.12. aluminium abu terbang fraksi volume 25 %	48
Gambar 5.1. ilustrasi bentuk partikel abu terbang	51
Gambar 5.2. Hasil foto SEM pada permukaan spesimen hasil pengujian keausan	54

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Logam memegang peranan penting dalam dunia industri. Hampir semua aspek yang ada dalam logam harus dipelajari untuk dapat menggunakan material logam yang dapat digunakan sesuai dengan apa yang diinginkan seperti efisiensi, kemudahan perawatan, biaya, factor keamanan dan efisiensi. Oleh karena pentingnya ilmu logam ini perlu dipelajari lebih lanjut sehingga ilmu logam dapat lebih berkembang dan dapat lebih menyesuaikan dengan kebutuhan yang sekarang.

Salah satu perkembangan yang pesat dalam ilmu logam sekarang ini adalah komposit. Bahan komposit sangat berguna dan unik karena mempunyai sifat yang tidak dimiliki bahan teknik lainnya. Sifat komposit didapatkan dari penggabungan matriks utama dengan penguat (*reinforcement*) melalui proses pembuatan yang bervariasi.

Komposit mempunyai definisi yaitu gabungan antara dua atau lebih penyusun yang berbeda yaitu penguat dan *matrix*. *Matrix* dan penguat dikombinasikan dalam skala makroskopis. Dengan penggabungan material tersebut maka akan didapatkan suatu material yang mempunyai sifat yang merupakan kombinasi dari material penyusunnya. Pada komposit dapat terbentuk *interface* yaitu suatu fase diantara fase matriks dan penguat yang timbul akibat reaksi kimia dan efek dari proses produksi atau pencampuran yang dilakukan.

Salah satu jenis komposit adalah metal matriks komposit. Metal matriks komposit ini mempunyai sifat yang bergantung dari *matrix* utama dan penguatnya. Contoh kelebihan yang dapat diperoleh pada penggunaan material metal *matrix* komposit adalah peningkatan daya redam energi material, ringan, design fleksibel, daya tahan terhadap fatigue dan creep lebih tinggi, daya tahan korosi lebih baik dan lainnya. Adapun kelemahannya

adalah design yang kompleks, biaya produksi tinggi, karakteristik terhadap temperature relative kurang baik.

Salah satu jenis dari metal matriks komposit adalah aluminium matriks komposit. Pada aluminium matriks komposit aluminium digunakan sebagai matriks dan penguat dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan sifat material yang diinginkan. Salah satu jenis penguat yang dapat digunakan adalah abu terbang.

Abu terbang adalah sisa pembakaran batu bara yang ringan dan memiliki ukuran butiran yang halus. Abu terbang memiliki nilai kekerasan dan ketahanan terhadap aus yang cukup tinggi. Dikarenakan abu terbang memiliki material penyusun seperti silika (SiO_2) memiliki nilai kekerasan 5,5 skala Mohs^[14]; alumina (Al_2O_3) memiliki nilai kekerasan 1800 - 2200 HVN^[16]; dan besi oksida (Fe_2O_3) memiliki nilai kekerasan 6 - 7,5 skala Mohs^[17]. Dikarenakan mempunyai nilai kekerasan dan ketahanan terhadap aus yang cukup baik maka dapat digunakan untuk pembuatan komponen bahan yang memerlukan ketahanan terhadap aus yang baik, sebagai contohnya dapat digunakan untuk material liner piston.

Pada pembuatan aluminium matriks komposit diperlukan terbentuknya ikatan antar *Interface* yang baik pada saat penggabungan matriks dan penguat. Salah satu metode yang baik adalah dengan proses *stir casting*. Metode *stir casting* ini merupakan metode yang ekonomis dan sederhana untuk proses produksinya. Metode ini dilakukan dengan cara memanaskan logam matriks sampai suhu lelehnya, kemudian memasukan material penguat yang digunakan ke dalam matriks cair lalu diaduk dengan waktu tertentu sampai tercampur rata. Kemudian cairan yang tercampur tersebut dituang ke dalam cetakan dan didinginkan. Diharapkan akan terbentuk material komposit yang memiliki sifat yang lebih baik dari material penyusunnya

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah untuk penelitian ini adalah

- Bagaimana struktur mikro akhir dari adanya penambahan volume abu terbang fraksi volume pada *Alluminium Metal Matrix Composite*.
- Bagaimana pengaruh variasi penambahan fraksi volume abu terbang terhadap nilai kekerasan *Alluminium Metal Matrix Composite* yang diproduksi dengan metode stir casting.
- Bagaimana pengaruh penambahan fraksi volume abu terbang terhadap tingkat laju keausan *alluminium metal matrix composite* yang diproduksi dengan metode stir casting.

1.3 Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah

- Menganalisa struktur mikro akhir dari adanya penambahan volume abu terbang fraksi volume pada *Alluminium Metal Matrix Composite*.
- Menganalisa pengaruh variasi penambahan fraksi volume abu terbang terhadap nilai kekerasan *Alluminium Metal Matrix Composite* yang diproduksi dengan metode stir casting.
- Menganalisa pengaruh penambahan fraksi volume abu terbang terhadap tingkat laju keausan *alluminium metal matrix composite* yang diproduksi dengan metode stir casting.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini, antara lain:

1. Parameter pada proses pengecoran dapat dianggap konstan seperti : temperature, waktu penuangan dan putaran pengaduk.
2. Alluminium yang digunakan memiliki komposisi dan porositas yang sama.

3. Abu terbang yang digunakan mempunyai komposisi dan distribusi ukuran yang sama.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk menambah pengetahuan tentang teknik pembuatan *Alluminium Metal Matrix Composite* dengan proses *stir casting* terutamanya dengan adanya variasi penambahan abu terbang sebagai penguat terhadap laju keausan dan nilai kekerasannya.

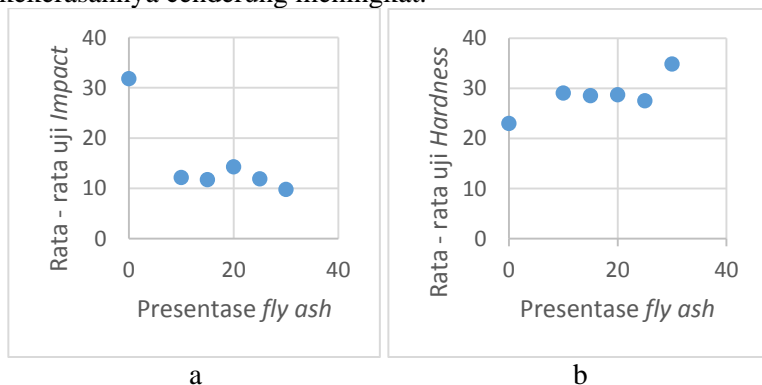
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian yang pertama dilakukan oleh *Tunjung S. (2012)*^[1], pembuatan *Alumunium matrix composite* dengan partikel penguat abu terbang sebanyak : 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% volume dan dengan metode *stir casting*. Cetakan yang digunakan berupa pipa *stainless steel* berbentuk tabung dengan volume 39, 79 cm³ serta beberapa pengujian seperti *impact*, *hardness*, mikro, dan SEM (*Scanning Electron Microskop*).

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan nilai *impact strength*-nya cenderung menurun sedangkan nilai kekerasannya cenderung meningkat.



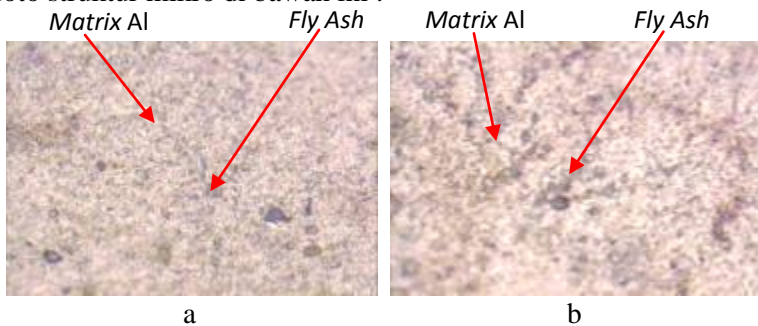
Gambar 2.1 Grafik Alumunium matrix composite Berdasarkan Perbandingan Volume Abu Terbang. (a) Grafik Nilai Rata-Rata Uji *Impact* Terhadap Presentase *Fly Ash*, dan (b) Grafik Nilai Rata-Rata Uji *Hardness* Terhadap Presentase *Fly Ash*^[1].

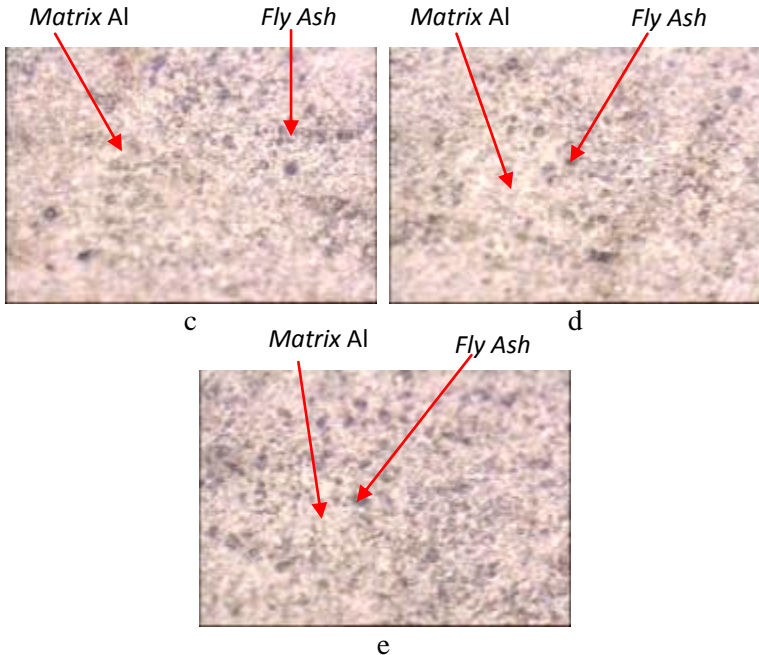
Dari grafik rata-rata uji *impact*, didapatkan nilai yang fluktuatif. Namun apabila ditarik garis linier, maka didapatkan bahwa semakin bertambahnya prosentase *fly ash*, maka nilai

impact strength-nya semakin menurun. Nilai *impact strength* yang terbesar terdapat pada penambahan 20% *fly ash* (Alumunium murni), dan nilai *impact strength* yang terkecil terdapat pada penambahan 30% *fly ash*. Sedangkan untuk nilai kekerasannya, pada grafik terlihat bahwa nilai kekerasan paling tinggi terletak pada penambahan prosentase *fly ash* sebanyak 30%, dan yang terkecil terletak pada penambahan prosentase *fly ash* sebanyak 25%.

Peningkatan nilai kekerasan ini dapat disebabkan oleh adanya ikatan yang terbentuk antara matriks aluminium dan penguat abu terbang. Penguat abu terbang yang memiliki sifat kekerasan yang lebih tinggi daripada matriks aluminium dikarenakan pada penguat abu terbang terdapat unsur aluminium oksida (Al_2O_3) dan kandungan besi serta carbon yang mempunyai tingkat kekerasan lebih tinggi dari aluminium murni menyebabkan dibatasinya gerak dislokasi pada saat pemberian beban indentasi sehingga nilai kekerasannya meningkat sesuai dengan ilustrasi gambar 2.15.

Distribusi penyebaran *fly ash* dapat dilihat berdasarkan foto struktur mikro di bawah ini :





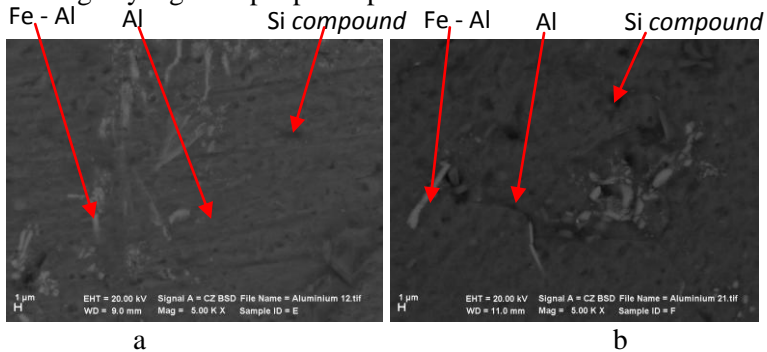
Gambar 2.2 Foto Struktur Mikro Pada Permukaan Aluminium Matrix Composite dengan Penambahan Abu Terbang Berdasarkan Fraksi Volume dan Perbesaran Mikroskop Sebesar 500 x,

(a) 10% fraksi volume; (b) 15% fraksi volume; (c) 20% fraksi volume; (d) 25% fraksi volume; (e) 30% fraksi volume^[1].

Pada foto penampang struktur mikro tersebut, terlihat bahwa distribusi partikel abu terbang semakin meningkat seiring bertambahnya prosentase *fly ash*. Dapat dilihat pula bahwa penyebaran distribusinya merata di berbagai tempat. Hal ini menandakan bahwa sifat mekanik dari *aluminium matrix composite* tersebut relatif homogen.

Pada pengujian *scanning electron mikroskop (SEM)* dilakukan pada spesimen dengan penambahan prosentase volume

fly ash sebanyak 25% dan 30% untuk melihat permukaan serta kandungan yang terdapat pada spesimen tersebut.



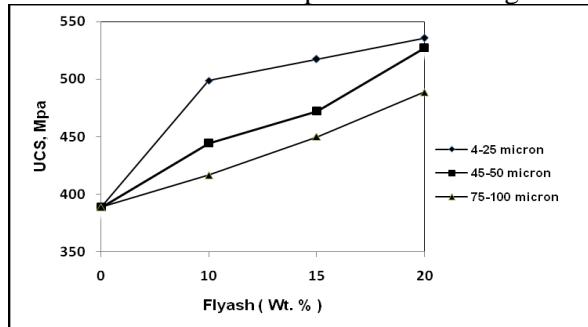
Gambar 2.3 Hasil uji SEM Spesimen Dengan Kadar Penambahan Abu Terbang dengan Perbesaran 5000 x. (a) 25% *fly ash*; (b) 30% *fly ash*^[1].

Dari hasil uji SEM pada gambar 2.16 diatas, dapat terlihat bahwa matriks aluminium berwarna keabu-abuan, *Si compound* berwarna kehitaman dengan bentuk tidak beraturan, dan ikatan *intermetallic* Fe - Al yang berwarna putih dengan bentuk tidak beraturan pula.

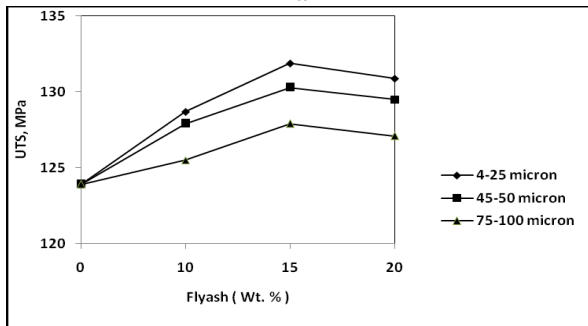
Timbulnya ikatan *intermetallic* Fe - Al pada spesimen dapat disebabkan oleh komposisi dari matriks aluminium sendiri yang memiliki kandungan Fe sebesar 1 % dimana tertera pada hasil uji komposisi kandungan Fe_3 yang terdapat pada abu terbang. Selain itu dapat pula disebabkan oleh adanya oksidasi dari *laddle* dimana *laddle* tersebut terbuat dari besi. Besi yang bersentuhan langsung dengan udara tanpa adanya lapisan pelindung di atasnya menyebabkan besi mudah bereaksi dengan udara. Reaksi besi dan udara menyebabkan timbulnya karat besi atau korosi. Besi memiliki sifat yang kuat, sedangkan karat besi mempunyai sifat yang rapuh. Ketika *laddle* digunakan untuk mencairkan aluminium, maka aluminium cair akan bersentuhan dengan karat besi sehingga ada kemungkinan karat besi lepas dari

besi dan bercampur dalam campuran *aluminium matrix composite* [1].

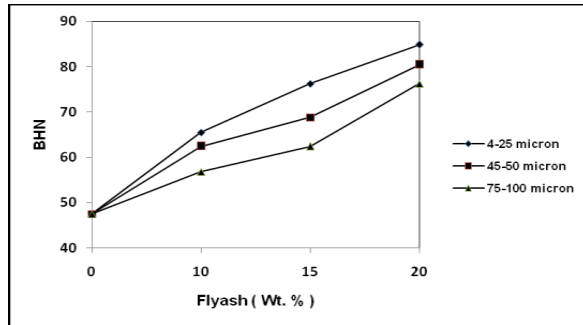
Penelitian yang dilakukan oleh *H.C. Anilkumar, H.S. Hebbar and K.S. Ravishankar (2010)*^[2] menggunakan aluminium + Fly Ash dengan ukuran butiran 4-25 mikron, 40-45 mikron dan 75-100 mikron didapatkan hasil sebagai berikut



a



b



C

Gambar 2.4 Pengaruh ukuran butiran Fly Ash terhadap (a) tensile strength (b) bending strength (c) hardness^[2].

Dengan didapatkan kesimpulan seperti metode stir casting dapat digunakan untuk membuat *uniform distribution* dari material penguat Fly Ash. *Tensile Strength, Compression Strength and Hardness* bertambah seiring dengan bertambahnya *weight fraction* dari material penguat Fly Ash dan menurun seiring dengan bertambahnya ukuran partikel Fly Ash. Tetapi terjadi penurunan pada tensile strenght composite dengan *weight fraction* lebih dari 15%^[2].

Penelitian yang dilakukan oleh *Gunawan Dwi Haryadi (2006)*^[3] menggunakan aluminium + abu terbang. Penambahan aluminium dengan fly ash disebut juga Metal Matrix Composite Aluminium Fly Ash (ALFA). Proses penambahan fly ash ke dalam aluminium menggunakan metode stir casting. Persentase fly ash yang ditambahkan adalah 5%, 10% dan 15% berat. Pengujian keausan yang dilakukan menggunakan metode pin on disk dengan material abrasifnya amplas dan spesimen berbentuk spherical ended pin. Didapatkan data sebagai berikut^[3].



Gambar 2.5 Pengaruh panjang lintasan terhadap laju keausan^[3].

Tabel 2.1 Data laju keausan^[3]

NO	PANJANG LINTASAN	LAJU KEAUSAN (W_r)(mm ³ /kg.m) $P = 0,9345 \text{ kg}$			
		ALUMINUM TANPA FLY ASH	ALUMINUM 5% FLY ASH	ALUMINUM 10% FLY ASH	ALUMINUM 15% FLY ASH
1	4,208	0,9409	0,89	0,8392	0,8138
2	8,416	0,9536	0,9155	0,8519	0,8773
3	12,624	0,9748	0,9409	0,8985	0,9324
4	16,832	0,9918	0,9409	0,8985	0,9324
5	21,04	0,9969	0,9562	0,9409	0,9613

NO	PANJANG LINTASAN	LAJU KEAUSAN (W_r)(mm ³ /kg.m) $P = 0,9345 \text{ kg}$		
		ALUMINUM 5% FLY ASH MELALUI SEPARASI	ALUMINUM 10% FLY ASH MELALUI SEPARASI	ALUMINUM 15% FLY ASH MELALUI SEPARASI
1	4,208	0,8392	0,8392	0,9409
2	8,416	0,8773	0,8646	0,8773
3	12,624	0,9239	0,9329	0,9155
4	16,832	0,9536	0,9409	0,9663
5	21,04	0,9409	0,9053	0,9511

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Komposit

Komposit material dapat didefinisikan sebagai sebuah sistem yang terdiri dari campuran dari 2 atau lebih unsur pokok yang tidak dapat disatukan antara satu dengan yang lainnya dan berbeda dalam bentuk ataupun komposisi material. Material ini dapat dibuat dengan menggunakan 2 atau lebih material yang berbeda yang akan membentuk material yang mempunyai sifat fungsi mekanik sebagai 1 unit^[4]. Satu material penyusun akan berfungsi sebagai matriks dan material lainnya akan berfungsi sebagai penguat dimana anatara matriks dan penguat akan terbentuk lapisan antar muka (*interface*) yang terjadi akibat reaksi dengan *wetting agent*^[5].

Dengan perkembangan teknologi tentang komposit saat ini, sangat memungkinkan untuk membuat atau mendapatkan material komposit yang mempunyai komposisi material yang diinginkan sehingga dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang teknologi mulai dari untuk bahan baku pembuatan alat elektronik, otomotif, peralatan rumah tangga, hingga peralatan industri.

2.2.1.1 Matriks

Matriks adalah material penyusun komposit yang berfungsi untuk mengikat dan mengisi yang melindungi dan mendistribusikan beban yang bekerja pada komposit dengan baik ke material penguat komposit^[1].

Berdasarkan penyusunnya komposit dapat dibagi menjadi beberapa grup yaitu^[4] :

1) *Polymer-matrix composite (PMC)*

Adalah salah satu jenis bahan komposit yang paling banyak digunakan untuk komposit adalah polimer. *Polyester* dan *vinyl* adalah bahan komposit yang paling banyak digunakan dan juga yang lebih murah dari pada polimer resin. Matriks material ini biasanya digunakan untuk komposit penguat *fiber glass*. Resin menyediakan jangkauan yang luas untuk properti dari material ini. Dan

epoxy adalah matriks yang lebih mahal dan didalam jangkauan penggunaan aplikasi komersial. Kekurangan dari PMC adalah kekuatan dan kekakuan yang rendah dibandingkan dengan metal dan keramik komposit.

2) *Metal-matrix composite* (MMC)

Matriks dari komposit ini adalah elastis metal. Komposit ini dapat digunakan didalam temperatur yang lebih tinggi dari pada bahan material penyusunnya. Penguat didalam material ini may meningkatkan kekakuan dan kekuatan spesifik, ketahanan terhadap aus, ketahanan terhadap *creep* dan stabilitas dimensi. MMC lebih ringan dan tahan terhadap aus dan kegagalan akibat panas.

3) *Ceramic-matrix composite* (CMC)

Salah satu tujuan dari pembuatan CMC adalah untuk meningkatkan kekerasan. CMC sangat tahan terhadap oksidasi dan kegagalan terhadap kenaikan suhu. Jika bukan karena sifatnya yang sangat getas. Komposit ini akan menjadi kandidat untuk digunakan di temperatur tinggi dan diaplikasikan untuk menahan beban, khususnya untuk komponen otomotif dan mesin turbin gas^[4].

2.2.1.2 Penguat (*reinforce*)

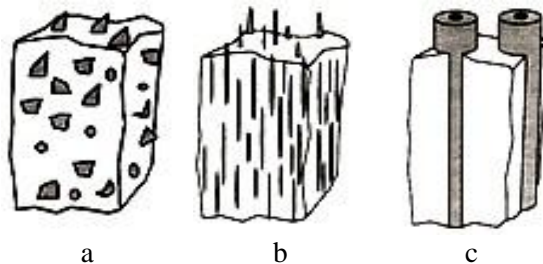
Penguat (*reinforce*) adalah material yang lebih kuat dari material matriks yang digunakan untuk memberikan kekuatan pada material komposit tersebut. Penguat ini berfungsi sebagai struktur komposit yang digunakan untuk menahan pembebanan yang diterima struktur komposit. Sehingga penguat komposit inilah yang menentukan sifat mekanik dari material komposit tersebut^[1]. Jenis penguat dari yang digunakan pada komposit adalah :

1. Komposit berpenguat partikel.

Penguat partikel mempunyai dimensi yang diperkirakan sama disemua arah. Bentuk dari penguat partikel bisa

berbentuk bulat, kubus, piringan atau beberapa bentuk yang lain^[4]. Komposit ini dapat dibagi menjadi :

- Komposit berpartikel besar.
 - Dispersi yang berpenguat komposit.
2. Komposit berpenguat serat, yakni serat panjang (*continous*) dan serat pendek (*discontinuous*).
Adalah penguat komposit yang dikarakterisasikan menurut panjangnya yang lebih panjang dari dimensi *cross-section*. Dimana rasio panjang terhadap *cross-section* dapat disebut sebagai aspek rasio dan dapat divariasikan^[4].
 3. LRC (*laminer reinforced composite*)
Merupakan penguat komposit yang penguatnya berupa lapisan (*lamine*).



Gambar 2.6 Pembagian komposit berdasarkan penguat, a. Particle reinforced composites, b. Fiber reinforced composites, c. LRC (*Laminar Reinforced Composite*)^[6].

2.3 Kemampubasahan (*Wetability*) dan *Interface*

Kemampubasahan adalah salah satu problem yang sangat penting ketika memproduksi MMC. Kemampubasahan dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari cairan untuk menyebar di permukaan solid. Kemampubasahan yang bagus berarti cairan (matriks) akan mengalir pada penguat dan menutupi seluruh bagian dari permukaan, baik yang berupa benjolan maupun cekungan dari permukaan kasar penguat^[4].

Sedangkan interfase adalah suatu fasa atau media yang terdapat pada komposit yang berfungsi untuk mentransfer beban dari matriks menuju penguat. untuk menghasilkan komposit yang baik, beban yang terjadi pada matriks harus secara efektif ditransferkan dari matriks ke penguat melalui interphase. Hal ini juga berarti bahwa interfase harus cukup kuat dan besar untuk menyalurkan beban^[4].

2.4 Aluminium

Aluminium adalah logam berwarna putih keperakan berwarna yang memiliki reflektivitas tinggi untuk cahaya dan panas. Para paduan dari aluminium umumnya dari warna yang sama, beberapa dengan semburat kebiruan. Densitas aluminium $2,7 \text{ g/cm}^3$ dan ini menjadi $2,6 \text{ g/cm}^3$ untuk *solid* pada suhu 660°C , tepat di bawah titik lelehnya, dan sebesar $2,4 \text{ g/cm}^3$ untuk material yang meleleh pada suhu ini. *Fusion* disertai dengan peningkatan volume 6,5-6,7% tergantung pada kemurnian logam, nilai terbawah berada pada aluminium dengan kadar 99,5%. Titik leleh 99,99% aluminium $660,2^\circ\text{C}$ dan panas fusi 387 J/g . Konduktivitas termal adalah 209 W/mK . Sejumlah kecil pengotor memiliki efek merusak pada konduktivitas^[7].

Reflektivitas dari aluminium murni adalah 80% sampai 85% dari radiasi terlihat. Kekuatan reflektif aluminium sangat penting dalam pembangunan berbagai jenis cahaya atau reflektor panas karena memakan lebih sedikit panas di bawah sinar matahari dibandingkan dengan logam lainnya^[7].

2.4.1 Sifat Fisik Alumunium

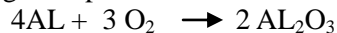
Alumunium mempunyai sifat yang ringan, mengkilat, tidak beracun, tahan panas, konduktor listrik yang baik, tahan korosi dan mudah di-ekstrusi (dicetak didalam bentuk penampang yang tetap) yang menjadikan alumunium banyak digunakan dalam berbagai keperluan. Contoh digunakan untuk material pembuatan alat-alat masak, kemasan makanan, elektronik, otomotif, konstruksi bangunan dan lain-lain.

Logam alumunium mempunyai nilai kekuatan tarik sekitar 90 MP sehingga hanya dapat digunakan sebagai material penyusun untuk produksi produk yang terbatas. Dengan diberikan pengerjaan *cold rolling*, nilai kekuatan alumunium dapat ditingkatkan.

2.4.2 Sifat Kimia Alumunium

Alumunium merupakan salah satu unsur kimia dari logam ringan dengan lambang Al dan nomer atom 13. Alumunium termasuk unsur yang sangat melimpah, yakni berjumlah sekitar 8% di permukaan bumi. Alumunium termasuk logam golongan utama (IIIA) yang bersifat amfoter dan ringan bersama magnesium dan platina.

Pada lapisan luar dari alumunium selalu tertutupi lapisan tipis oksida yang merupakan sifat dari alumunium.



Oksida inilah yang mempunyai sifat melindungi alumunium dari pengaruh asam atau garam yang menyebabkan logam-logam berkarat sekaligus membuat alumunium sukar di las.

Tabel 2.2 Sifat - Sifat Aluminium^[8].

Sifat Fisik	Satuan SI	Nilai
Densitas (T=20 ⁰ C)	Gram/cm ³	2,7
Nomor Atom	-	13
Berat Atom	Gram/mol	26,97
Warna	-	Putih keperakan
Struktur Kristal	-	FCC
Titik Lebur	⁰ C	660,4
Titik Didih	⁰ C	2467
Jari-jari Atom	Nm	0,143
Jari-jari Ionik	Nm	0,053
Nomor Valensi	-	+3
Sifat Mekanis		
Modulus Elastisitas	Gpa	71

<i>Poisson's Ratio</i>	-	0,35
Kekerasan	VHN	19
Kekuatan Luluh	Mpa	25
Ketangguhan	Mpa√m	33
Sifat Thermal		
Konduktivitas Panas	W/mK	237
Kapasitas Panas	J/Kg ⁰ C	917
Sifat-sifat Lain		
Ketahanan Korosi	-	Sangat Baik
<i>Machinability</i>	-	Baik
<i>Formability</i>	-	Baik

2.5 Metal Matrix Composite

Metal matrix composite adalah gabungan antara dua atau lebih material (salah satunya metal) dimana sifat yang didapatkan berasal dari kombinasi sistematis dari perbedaan konstituen. Material konvensional monolithic mempunyai batasan di aspek kombinasi dari kekuatan, kekakuan dan kepadatan. MMC terdiri dari fiber panjang dan putus-putus, kumis atau partikel didalam campuran logam sehingga logam mampu mencapai kombinasi yang dapat memperoleh kekuatan dan modulus yang sangat tinggi. Sedangkan desain sistematis dan prosedur sintesis memungkinkan kombinasi yang unik kepada properti komposit seperti ketahanan terhadap temperatur, *fatigue*, elektrik dan termal konduksi, bilangan *friction*, ketahanan aus dan koefisien ekspansi^[4].

2.6 Aluminium Matrix Composite

Aluminium mempunyai sifat mekanik, ketahanan korosi dan hantaran listrik yang baik. Material ini mempunyai bobot yang ringan, penghantar panas yang baik dan tahan terhadap korosi. Sehingga material ini banyak digunakan dalam berbagai bidang secara luas yaitu untuk keperluan rumah tangga, untuk

keperluan industri otomotif, konstruksi, transportasi dan juga material pesawat terbang.

Aluminium mempunyai massa jenis sebesar $2,7 \text{ gr/cm}^3$ dan nilai kekuatannya rendah, tetapi melalui pemaduan dengan unsur-unsur tertentu akan memberikan peningkatan kekuatan mekaniknya^[9].

Beberapa kelebihan *Aluminium Matrix Composite* dibandingkan *Polymer Matrix Composite* antara lain :

- sifat elastisitas yang lebih tinggi
- ketahanan temperature lebih tinggi
- sensitifitas kelembapan yang baik
- konduktifitas thermal dan elektrik lebih tinggi
- ketahanan terhadap fatigue lebih besar.

Beberapa kelemahan *Aluminium Matrix Composite* dibandingkan *Polymer Matrix Composite* antara lain :

- Biaya pembuatan yang tinggi
- Perbaikan sulit

2.7 Abu Terbang (*Fly ash*)

Abu terbang merupakan material sisa pembakaran batu bara yang ringan dan memiliki ukuran butiran yang halus. Abu terbang yang digunakan pada studi kali ini adalah abu terbang sisa pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Proses pembakaran yang digunakan adalah *Fluidized bed System* dimana udara ditiup dari bawah menggunakan blower sehingga benda padat di atasnya berkelakuan mirip fluida. Teknik fluidisasi dalam pembakaran batu bara adalah teknik yang paling efisien dalam menghasilkan energi. Pasir atau *corundum* yang berfungsi sebagai medium pemanas dipanaskan terlebih dahulu. Pemanasan biasanya dilakukan dengan minyak bakar. Setelah temperatur pasir mencapai temperatur bakar batubara (300°C) kemudian diumpankanlah batu bara. Sistem ini menghasilkan abu yang disebut dengan abu terbang (*fly ash*) dan abu bawah (*bottom ash*) (5-10%). Persentase abu terbang yang dihasilkan adalah

(80-90%) dan sisanya berupa material yang lebih berat atau disebut *bottom ash* (10-20%)^[11].

Abu terbang yang dihasilkan pembangkit listrik berukuran 100-200 mesh (1 mesh = 1 lubang / inch²). Bubuk halus ini berwarna abu-abu terang sampai gelap atau bias kecoklatan / kekuning-kuningan. Di mana titik didih / titik leleh dari abu terbang > 1400 °C dan mempunyai berat jenis 2.05 – 2.8 gr / cm³.

Komponen utama dari abu terbang yang berasal dari pembangkit listrik adalah silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), dan besi oksida (Fe₂O₃), sisanya adalah karbon, kalsium, magnesium, dan belerang. Apabila ditinjau dari nilai kekerasan dari masing-masing komponen utama dari abu terbang, silika (SiO₂) memiliki nilai kekerasan 5,5 skala Mohs^[14]; alumina (Al₂O₃) memiliki nilai kekerasan 1800 - 2200 HVN^[16]; dan besi oksida (Fe₂O₃) memiliki nilai kekerasan 6 - 7,5 skala Mohs^[17]. Oleh karena itu abu terbang banyak digunakan sebagai penguat dalam material komposit dikarenakan kelebihan-kelebihan yang dimiliki terutama dari segi teknik.

Pemanfaatan abu terbang yang telah dilakukan, antara lain^[15] :

1. Sebagai campuran semen pada pembuatan bendungan, tanggul air, dermaga dan konstruksi jalan raya.
2. Sebagai material tahan api yang ringan dan ubin yang tahan terhadap temperatur yang tinggi.
3. Sebagai material penguat pada *aluminium matrix composite* yang bertujuan meningkatkan kekuatan dan menjadikannya lebih ringan. Komposit yang dihasilkan ini telah banyak digunakan dalam industri otomotif dan penerbangan. Selain itu digunakan sebagai material pengisi seperti pada *sphalt*, plastik, cat dan produk karet.
4. Digunakan dalam perawatan air dan sebagai pengikat tumpahan minyak dan zat kimia di perairan.

2.7.1 Susunan Kimia Abu Terbang

Abu terbang digolongkan menjadi dua macam menurut jenis batubara yang digunakan, yaitu tipe C dan F. Abu terbang tipe C berasal dari hasil pembakaran batu bara jenis *lignite* atau *sub-bituminous* sedangkan abu terbang tipe F dihasilkan dari *anthracite* atau *bituminous*. Selain itu, klasifikasi abu terbang dapat diketahui dari persentase komposisi kimia yang terkandung didalamnya seperti Silikon dioksida (SiO_2), Aluminium Oksida (Al_2O_3), Besi Oksida (Fe_2O_3), dan lain-lain. Tabel 2.3 berikut menunjukkan komposisi kimia yang dibutuhkan untuk membedakan abu terbang tipe F dan C^[10] :

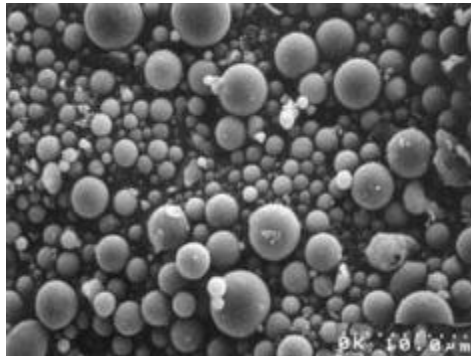
Tabel 2.3 Susunan Kimia dan Sifat Fisik Abu Terbang^[10].

Uraian	Kelas F (%)	Kelas C (%)
A. Susunan Kimia		
1. Silikon dioksida, min	54,90	39,90
2. Silikon dioksida + Aluminium oksida + Besi oksida min	70,00	50,00
3. Sulfur Trioksida, maks	5,0	5,0
4. Kadar Air, maks	3,0	3,0
5. Hilang Pijar, maks	6,0	6,0
6. Na_2O , maks	1,5	1,5
B. Sifat Fisik		
1. Kehalusan sisa diatas ayakan 45 um, maks	34,0	34,0
2. Indeks keaktifan pozolon dengan PC I, pada umur 28 hari, min	75,0	75,0
3. Air, maks	105,0	105,0
4. Pengembangan dengan Autoclave, maks	0,8	0,8

2.7.2 Sifat Fisik Abu Terbang

A. Morfologi partikel

Morfologi mempelajari tentang karakteristik partikel bentuk dan permukaan berbagai jenis abu terbang telah dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Pemeriksaan mikroskopis mengungkapkan bahwa sebagian besar bagian anorganik sampel abu terbang terdiri dari bola kaca. Partikel abu dan karbon dengan mudah dapat dibedakan karena kecerahan di gambar *Scanning Electron Microscope* (SEM) berkaitan dengan berat atom lokal (elemen berat terlihat lebih terang) ^[15].



Gambar 2.7 Hasil *Scanning Electron Microscope* (SEM) Abu Terbang ^[15].

Dari Hasil *Scanning Electron Microscope* (SEM) maka dapat diketahui bahwa semakin kecil partikel abu terbang, maka bentuknya akan semakin bulat (*spherical*) dibandingkan dengan partikel yang lebih besar.

B. Tingkat kehalusan (*fineness*)

Tingkat kehalusan (*fineness*) partikel abu terbang dapat didefinisikan sebagai *specific surface area* dengan menggunakan *blaine air permeability method*.

C. Specific Gravity

Secara umum besarnya *specific gravity* abu terbang berkisar antara 1,91 – 2,94.

D. Pozzolan Activity

Pozzolan activity merupakan kemampuan komponen silika dan alumina dari abu terbang untuk bereaksi dengan *calcium hydroxide* jika ditambahkan air untuk menghasilkan *highly cementitious water insoluble products*. *Pozzolan activity* ini dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti *fineness*, unsur yang tak berbentuk (*amorphous matter*), komposisi kimia dan mineral serta karbon yang tidak terbakar atau *LOI* (*Loss on Ignition*) dari abu terbang.

E. Warna

Abu terbang tipe C berwarna lebih terang (putih) bila dibandingkan tipe F yang lebih gelap (abu-abu). Hal ini dikarenakan jumlah karbon yang tidak terbakar di dalam abu terbang tipe C lebih banyak daripada tipe F. Sifat kimia abu terbang sangat dipengaruhi oleh jenis batubara yang digunakan.

2.7.3 Komposisi Kimia Abu Terbang PLTU Paiton

Berdasarkan data-data diatas, didapatkan komposisi kimia abu terbang milik PLTU Paiton adalah sebagai berikut :

Tabel 2.4 Karakteristik Hasil Pengujian Abu Terbang^[10].

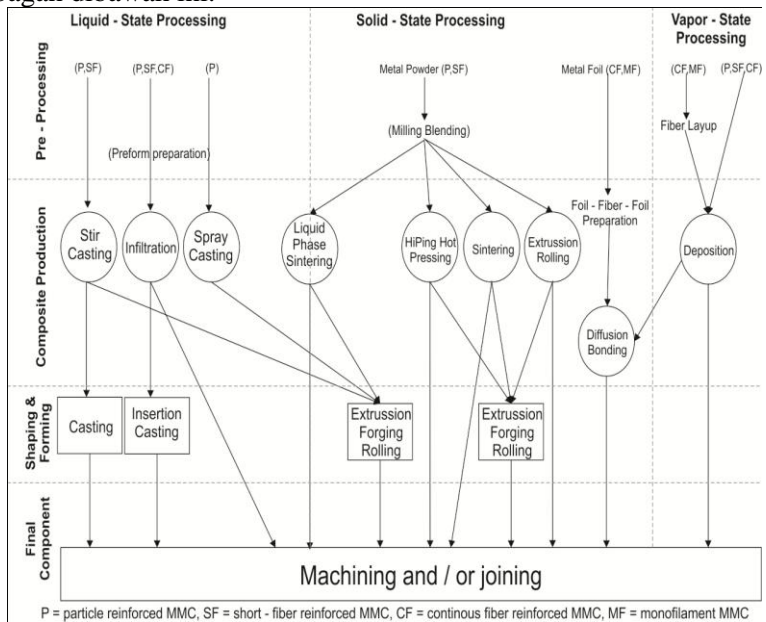
No	Parameter	Satuan	Hasil Uji Fly Ash PLTU Paiton
1	Berat Jenis	g/cm ₃	1,43
2	Kadar Air	% Berat	0,20
3	Hilang Pijar	% Berat	0,43
4	SiO ₂	% Berat	62,49
5	Al ₂ O ₃	% Berat	6,36
6	Fe ₂ O ₃	% Berat	16,71
7	CaO	% Berat	3,69
8	MgO	% Berat	0,79
9	S(SO ₄)	% Berat	7,93

Dari Tabel 2.4 diatas, diketahui bahwa abu terbang PLTU Paiton termasuk dalam kelas F, karena kandungan oksida silica yang dihasilkan lebih dari 54,90 % (62,49 %), serta jumlah gabungan oksida silica; alumunium; dan besi dari abu terbang lebih dari 70 % (85,56 %) ^[10].

2.8 Produksi *Metal Matrix Composite*

Metal matriks komposit menunjukkan aplikasi yang luas dalam berbagai bidang baik untuk serat pendek, partikulit maupun laminat. Proses pembuata MMC yang paling sering digunakan pada umumnya ada 2 bagian utama yaitu proses primer dan sekunder. Pada proses primer yaitu proses pembuatan komposit dengan menggabungkan bahan material (*metal powder* dan partikel keramik atau lelehan metal), akan tetapi tidak sampai dalam bentuk akhir. Pada proses sekunder setelah proses primer dilakukan bertujuan untuk merubah bentuk atau struktur mikro dari material, contohnya *shape casting*, *forging*, *extrusion*, *heat-treatment* dan *machining* proses ini dapat merubah fasa dan bentuk dari komposit.

Proses pembuatan komposit sangatlah bervariasi. Klasifikasi dasar pembuatan komposit dapat dijelaskan melalui bagan dibawah ini.



Gambar 2.8 Skema klasifikasi pembuatan komposit^[11].

1. Proses fase cair (*liquid state processing*)

Produksi komposit melalui fase cair dibagi menjadi 3 yaitu :

- **Stir casting**

Prosesnya dapat dilakukan dengan mencairkan logam kemudian ditambahkan penguat lalu diaduk sampai berbentuk seperti bubur. Pengadukkan dilakukan hingga logam menjadi semi padat dan memerangkat partikel penguat.

- **Infiltration**

menyisipkan partikel penguat ke fase cair

- **Spray casting**

Men- *spray* partikel ke matriks komposit

2. Proses fase padat (*solid state processing*)

Umumnya proses pembentukan komposit melalui cara ini adalah dengan powder metallurgi, beberapa proses yang dilakukan adalah

- Penekanan dan *Sintering* atau pembentukan campuran serbuk dengan serbuk komposit.
- Ekstrusi atau pembentukan partikel campuran serbuk material .
- Ekstrusi atau pembentukan dengan penyemprotan pada precursor material.

Mengombinasikan deformasi dari *metal wires* (grup superkonduktor)^[12].

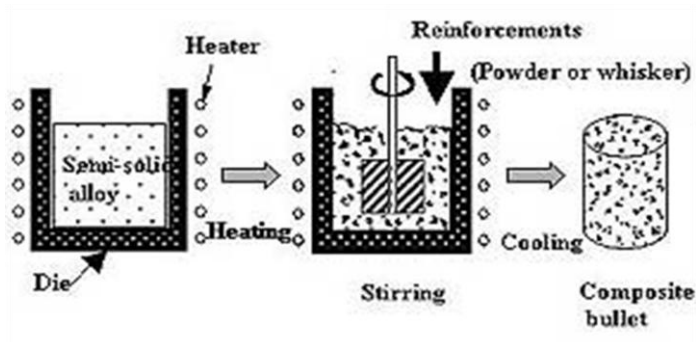
3. Proses fase gas (*vapor state processing*)

Dalam infiltrasi gas tekanan, infiltrat yang telah meleleh dicampur dengan gas yang digunakan dari luar. Sebuah gas yang inert terhadap matriks digunakan/ matriks dan infiltrasi berlangsung di sebuah bejana tekan yang cocok^[12].

2.8.1 Proses Stir Casting

Pembuatan MMC pada keadaan cair meliputi penggabungan fase terdispersi ke dalam matriks metal yang leleh dan diikuti dengan pemadatan. Untuk mendapatkan sifat mekanik yang tinggi maka diperlukan terbentuknya ikatan antar interfase yang baik pada saat penggabungan matriks dan penguat. Metode stir casting ini merupakan metode yang sangat ekonomis dan sederhana untuk proses produksinya^[12].

Pada studi kali ini menggunakan metode *stir casting*. *Stir casting* adalah metode produksi saat material berada pada kondisi cair, yaitu terdispersinya material (*partikel keramik dan short fiber*) yang diaduk dengan material matriks leleh menggunakan pengaduk mekanik.



Gambar 2.9 Mekanisme Proses *Stir casting*^[5].

Pada metode stir casting mempunyai karakteristik sebagai berikut :

- Distribusi dari fase terdispersi ke dalam matriks tidak homogen secara utuh.
- Distribusi dari fase terdispersi bisa ditingkatkan dalam kondisi semi solid. Metode menggunakan *stir casting* saat kondisi semi solid disebut dengan *rheocasting*^[1].

2.9 Perhitungan Komposit

2.9.1 Karakteristik Umum

Untuk memproduksi material komposit, perlu memperhitungkan volume fraksi atau berat fraksi masing-masing penyusunnya untuk mendapatkan sifat mekanik yang diperlukan. Perhitungan yang diperlukan dijabarkan di bawah ini:

$$\text{Fraksi volume total} : V_f + V_m = 1 \quad (2.1)$$

$$\text{Fraksi volume matriks} : V_m = v_m / v_c \quad (2.2)$$

$$\text{Fraksi volume serat} : V_f = v_f / v_c \quad (2.3)$$

$$\text{Fraksi berat total} : W_f + W_m = 1 \quad (2.4)$$

$$\text{Fraksi berat matriks} : W_m = w_m / w_c \quad (2.5)$$

$$\text{Fraksi berat serat} : W_f = w_f / w_c \quad (2.6)$$

Dari persamaan tersebut, didapatkan:

$$V_c = V_m + V_f \quad (2.7)$$

$$w_c = w_m + w_f \quad (2.8)$$

Kerapatan komposit dapat dihitung berdasarkan persamaan di bawah:

$$\rho_c = V_f \rho_f + V_m \rho_m \quad (2.9)$$

dimana:

- m = Matriks
- f = Serat
- c = Komposit
- V = Volume fraksi
- W = Berat fraksi
- V = Volume (m³)
- w = berat (kg)

2.9.2. Perhitungan Komposit

Untuk menghitung fraksi massa dari suatu campuran, maka yang perlu dilakukan pertama kali adalah mengetahui besar volume cetakan yang digunakan. Pada studi kali ini menggunakan cetakan berbentuk tabung dari bahan *stainless steel*, dimana rumus volume tabung :

$$V = \pi * r^2 * t \quad (2.10)$$

- dimana :
- V = volume tabung (cm³)
 - r = jari – jari tabung (cm)
 - t = tinggi tabung (cm)

untuk menghitung besar massa yang diperlukan untuk mengisi cetakan digunakan beberapa persamaan, antara lain :

$$m = \frac{\rho}{V} \quad (2.11)$$

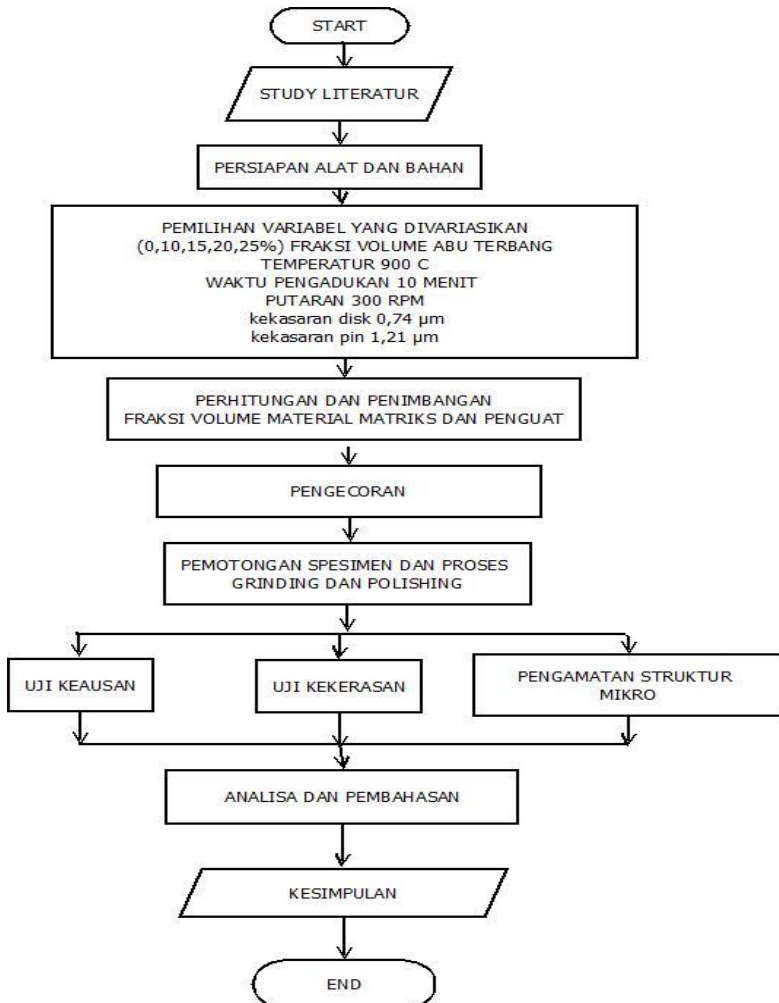
- dimana :
- m = massa (gram)
 - ρ = massa jenis (gr / cm³)
 - V = Volume (cm³)

Umumnya perhitungan komposit berdasarkan atas fraksi volume, namun dalam proses produksinya, perhitungannya berdasarkan fraksi massa. Hal ini karena dengan menggunakan fraksi massa lebih memudahkan pengerjaannya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. DIAGRAM ALIR



Gambar 3.1 Diagram Alir percobaan.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Dalam penelitian ini, proses pembuatan alumunium *matrix composite* menggunakan metode *stir casting*. Alat yang digunakan adalah :

1. Electric Furnace



Gambar 3.2 *Electric Furnace.*

2. Pengaduk (*mixer*)



Gambar 3.3 *Mixer.*

3. Mesin Uji Aus – *Tribometer pin on disk*



Gambar 3.4 Tribometer pin on disk.

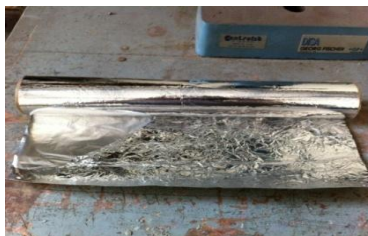
4. Mesin Uji Hardness FRANK

5. Sendok panjang



Gambar 3.5 Sendok panjang.

6. Alumunium foil



Gambar 3.6 Alumunium foil.

7. Timbangan digital



Gambar 3.7 timbangan digital.

8. Serta alat bantu lain seperti alat pemotong aluminium, *Ladle*, Penjepit / Tang, Cetakan stainless steel, Gerinda potong (*cutting Wheel*), Tachometer infra merah, Penjepit *ladle*, Mikroskop Optis (*Light Microscope*), Perangkat *grinding*, *polishing*, dan *etching*.

3.2.2 Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam proses pembuatan aluminium *matrix composite* sebagai berikut:

1. Aluminium bekas yang dipotong



Gambar 3.8 Alumunium.

2. Fly Ash yang digunakan didapatkan dari sisa pembakaran batu bara di Pembangkit Jawa-Bali unit Paiton.



Gambar 3.9 Bubuk Fly Ash.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian dalam pembuatan aluminium *matrix composite* adalah komposisi bahan penyusun material komposit tersebut yang terdiri dari aluminium sebagai matriks dan Fly Ash sebagai penguat. Variasi komposisi campuran bahan untuk setiap ukuran butiran Fly Ash ditunjukkan pada Tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3.1 Komposisi Campuran Bahan

Kode specimen	Fly Ash (%)	Aluminium (%)
1	0	100
2	10	90
3	15	85

4	20	80
5	25	75

Cetakan untuk pembuatan aluminium *matrix composite* menggunakan stainless steel berbentuk dengan diameter 36.3 mm dan tinggi 70 mm. Dari perumusan volume tabung :

$$V_{\text{tabung}} = \pi * r^2 * t \quad (3.1)$$

dimana : π : 3, 14

r : jari – jari alas tabung

t : tinggi tabung

didapatkan volume sebesar 72,41 cm³. Dari volume tabung tersebut akan didapatkan besar massa bahan penyusun dari perumusan massa jenis :

$$\rho = m/v \quad (3.2)$$

dimana : m : massa

ρ : massa jenis

v : volume

maka didapatkan massa bahan penyusun pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Massa penyusun campuran bahan untuk masing - masing ukuran butiran partikel Fly Ash

Kode specimen	Fly Ash (gram)	Aluminium (gram)
1	0	195,51
2	10,35	175,96
3	15,53	166,18
4	20,71	156,41
5	25,89	146,63

3.4 Pembuatan Aluminium *Matrix Composite*

3.4.1 Pengecoran Spesimen

1. Aluminium dipotong kecil sebesar diameter *ladle* sehingga bisa dimasukkan kedalam *ladle*.
2. Aluminium dan abu terbang ditimbang sesuai dengan fraksi volume tabel 3.2.
3. *Electric furnace* dinyalakan dan diatur temperaturnya hingga suhu 900°C.
4. Aluminium dimasukkan ke dalam *ladle* di dalam *electric furnace*.
5. membersihkan slag dari aluminium cair.
6. Bubuk Fly Ash dibungkus dengan aluminium foil.
7. Fly Ash yang telah dibungkus dengan aluminium foil dimasukkan ke dalam *ladle* yang berisi aluminium cair.

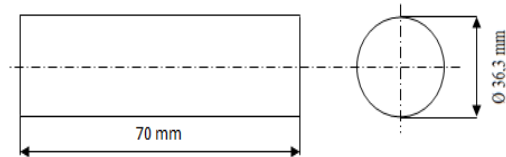
3.4.2 Pengadukan

1. Setelah aluminium foil masuk ke dalam aluminium cair, pengaduk di stel menggunakan tachometer dengan putaran 300 rpm untuk dimasukkan ke aluminium cair.
2. Pengaduk dimasukkan dalam kondisi *off* ke dalam aluminium cair kemudian dinyalakan.
3. Pengadukan berlangsung selama 10 menit bertujuan untuk menyebarkan partikel ke dalam matriks^[1].

3.4.3. Penuangan-shaping-forming

1. *Ladle* berisi Al-Fly Ash di jepit dengan tang dan diangkat.
2. Penuangan aluminium cair di lakukan ke dalam cetakan silinder stainless steel.
3. Pendinginan aluminium dilakukan pada suhu kamar.
4. Komposit hasil pengecoran dikeluarkan dengan menggunakan menggerinda cetakan hingga sobek di salah satu sisi, sehingga komposit bisa dikeluarkan dari cetakan.

5. Proses grinding dilakukan dengan menggunakan grid 320, 600, 800, 1000, 1200, 1500.
6. Polishing dilakukan dengan kain bludru dan bubuk alumina.
7. Setelah terbentuk spesimen komposit yang baik, selanjutnya bisa dilakukan pengujian mekanik^[1].



Gambar 3.10 spesimen hasil pengecoran.

3.5 Pengujian Spesimen

Dalam penelitian ini, dilakukan beberapa pengujian terhadap spesimen yang telah dihasilkan, yaitu :

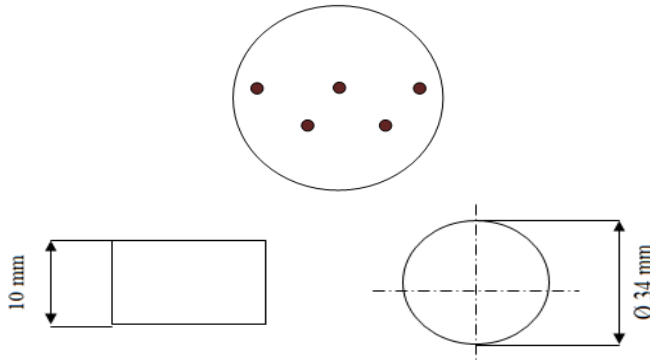
3.5.1 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro ini menggunakan spesimen berbentuk silinder berdiameter 30 mm dan tinggi 10 mm. Selanjutnya spesimen dipreparasi dengan menggunakan prosedur metalografi standar yang melibatkan grinding dan polishing. Proses etsa dilakukan dengan mengusapkan larutan etsa ke permukaan spesimen. larutan etsa yang digunakan adalah Keller Reagent 2 detik lalu spesimen segera dicuci dengan menggunakan alcohol 98%. Struktur mikro dari spesimen tersebut diamati dengan menggunakan mikroskop optis Olympus yang dilengkapi dengan kamera digital. Morphology dan fase yang ada pada spesimen akan dianalisa dan didiskusikan secara menyeluruh.

3.5.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan menggunakan metode Brinell dengan menggunakan mesin uji FRANK. Indentor yang dipakai adalah bola baja dengan diameter 2,5 mm. pembebanan yang

diberikan adalah 31,75 KP. Spesimen uji hardness berbentuk tabung berdiameter 30 mm dan tinggi 10 mm. Untuk titik pengujian berjumlah 5 titik per variasi fraksi volume dan ukuran butiran, dapat dilihat seperti gambar 3.6^[1].



Gambar 3.11 Titik Pengujian Kekerasan dan gambar spesimen uji.

3.5.3 Pengujian Keausan

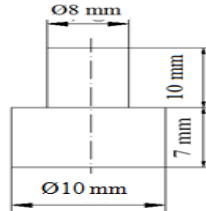
Pengujian keausan menggunakan metode *tribometer pin on disk*. Pembebanan yang digunakan sebesar 1,5 kg dan menggunakan piringan dengan bahan baja dengan kekerasan 57 HRC, berdiameter 100 mm dan tebal 10 mm sebagai bahan gesekan untuk spesimen uji. Kecepatan putaran alat diatur pada 0.1560328 m/s. Spesimen yang digunakan dalam pengujian keausan memiliki bentuk tabung dengan diameter 10 mm dan tinggi 7 mm.

Tabel 3.3 tabel nilai kekasaran matrial pengujian keausan

no pengujian	1 (μm)	2 (μm)	3 (μm)	rata - rata (μm)
disk	0,52	0,76	0,94	0,74
pin	0,72	1,71	1,2	1,21

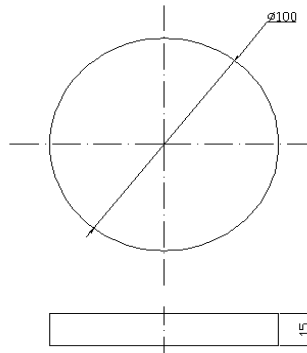
Adapun langkah-langkah kerja untuk pengujian keausan dengan metode *tribometer pin on disk* adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan alat uji dan spesimen yang akan diuji.
2. Spesimen dibentuk silinder pejal dengan diameter bertingkat. Dimensi pin dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.12 Desain pin.

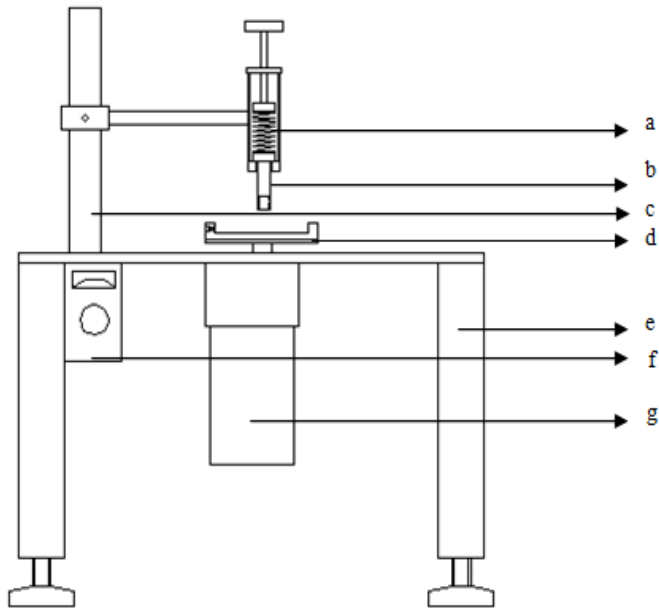
4. Membuat disk dengan bahan VCN150 / AISI 4340 dan dimachining dengan dimensi seperti gambar dibawah ini.



Gambar 3.13 Desain Disk.

4. Pengukuran properti spesimen dilakukan menggunakan timbangan digital.
5. Penentuan jarak radius spesimen antara disk dan spesimen. Dengan jarak pusat spesimen dan pusat disk sebesar 40 mm

6. Mempersiapkan alat uji tribometer *pin on disk* dimana gambar bagian-bagian alat uji dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.14 Bagian-bagian dari alat tribometer tipe pin on disk.

Keterangan gambar :

- a. *Load control with adjustabel spring*
- b. *Pin spesimen holder with lock*
- c. *Metal main holder with flexible mounting dan flexible radius (adjustabel)*
- d. *Round metal disk table with rigid design*
- e. *Tribometer tabel with rigid design and low damping / vibration effect*
- f. *Speed control with selectabel level*
- g. *AC motor with reducer gear box*

7. Pengukuran putaran dengan menggunakan tachometer akan didapatkan rpm dari lima level *speed control*, panjang *wear track* dibuat konstan 1000 m.
8. Melakukan penimbangan ke dua untuk mengetahui properti akhir dari spesimen.
9. Mengolah data dari hasil pengujian yang telah dilakukan.

Pada pengujian keausan ini menggunakan satuan volume per meter, dikarenakan pada waktu pengujian keausan apabila menggunakan satuan volume per meter dengan menggunakan kecepatan berbeda-beda.

BAB IV

DATA HASIL PENELITIAN

4.1. Hasil Uji Komposisi Kimia

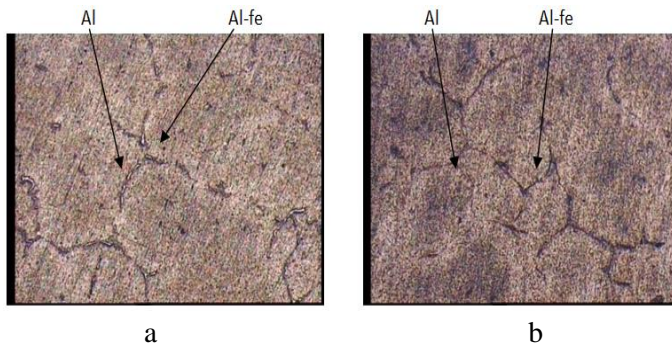
Hasil pengujian untuk mengtaui komposisi kimia dari komponen aluminium yang digunakan mendapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.1. tabel komposisi kimia penyusun aluminium hasil uji komposisi kimia.

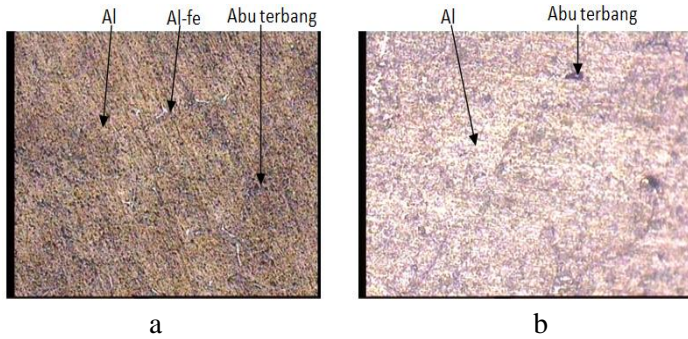
No	Al	Fe	Si	Mg	Ti	Cu	Ni
Avg	99,00	0,0833	0,463	0,327	0,0135	0,006	0,0046

4.2. Pengamatan Permukaan Spesimen

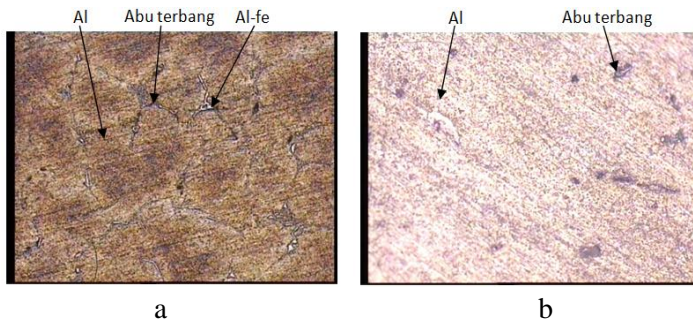
4.2.1. Pengamatan Struktur Mikro Pada Spesimen



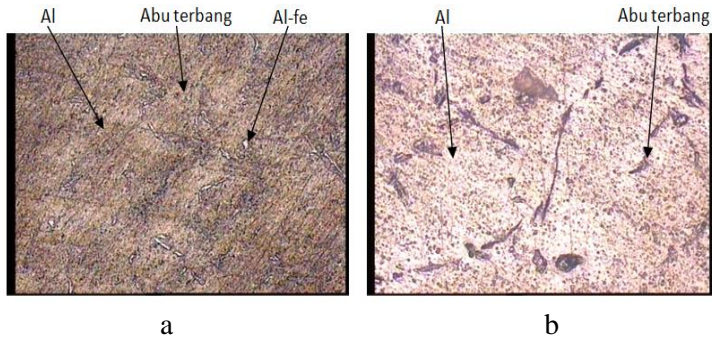
Gambar 4.1 gambar struktur mikro aluminium murni pembesaran 100x (a) sebelum etsa (b) sesudah etsa.



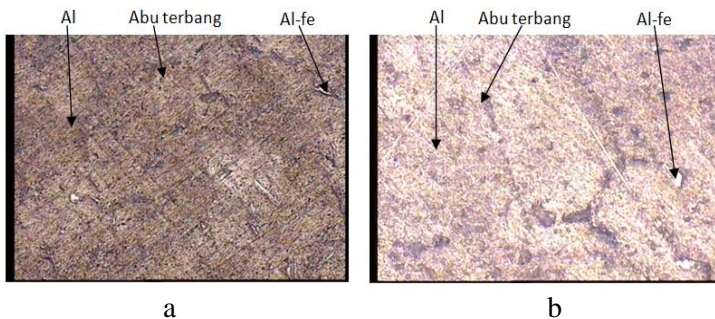
Gambar 4.2 gambar struktur mikro aluminium abu terbang 10% pembesaran 100x (a) sebelum etsa (b) sesudah etsa.



Gambar 4.3. gambar struktur mikro aluminium abu terbang 15% pembesaran 100x (a) sebelum etsa (b) sesudah etsa.



Gambar 4.4. gambar struktur mikro aluminium abu terbang 20% pembesaran 100x (a) sebelum etsa (b) sesudah etsa.



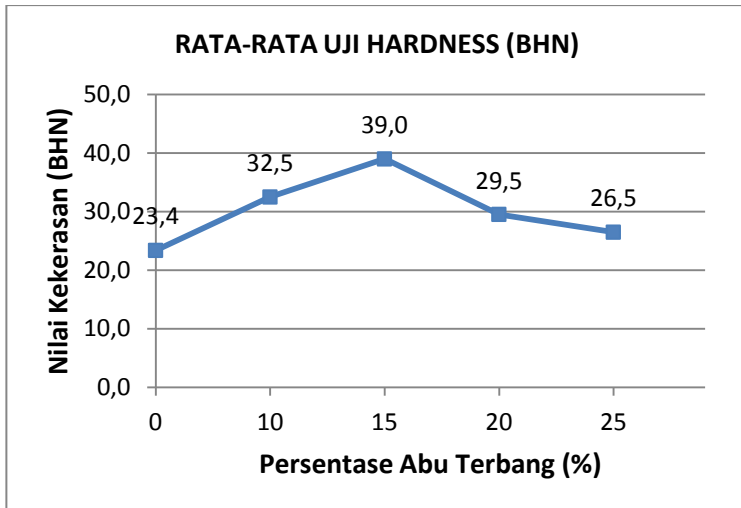
Gambar 4.5. gambar struktur mikro aluminium abu terbang 25% pembesaran 100x (a) sebelum etsa (b) sesudah etsa.

4.3. Hasil Pengujian Hardness dan Keausan

Pengujian kekerasan yang digunakan pada penelitian kali ini adalah *Hardness Brinell*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui *Hardenability* dari spesimen tersebut. Dari hasil pengujian didapatkan data pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Tabel data pengujian *Hardness* dan keausan.

SPESIMEN	VOLUME ABU TERBANG (%)	TITIK	UJI HARDNESS		UJI KEAUSAN			
			NILAI UJI HARDNESS (BHN)	RATA-RATA (BHN)	M0 (g)	M1 (g)	ΔM (g)	LAJU KEAUSAN (mm ³ /Nm)
1	0	1	21,8	23,4	5,24	5,21	0,0250	6,361,E-04
		2	23,8					
		3	23,8					
		4	23,8					
		5	23,8					
2	10	1	34,4	32,5	2,85	2,84	0,0145	3,515,E-04
		2	31,2					
		3	34,4					
		4	31,2					
		5	31,2					
3	15	1	38,1	39,0	2,98	2,97	0,0074	1,768,E-04
		2	38,1					
		3	42,5					
		4	38,1					
		5	38,1					
4	20	1	31,2	29,5	2,51	2,49	0,0156	3,810,E-04
		2	28,4					
		3	28,4					
		4	28,4					
		5	31,2					
5	25	1	28,4	26,5	2,58	2,56	0,0166	4,069,E-04
		2	28,4					
		3	25,9					
		4	23,8					
		5	25,9					



Gambar 4.6. grafik nilai rata-rata uji hardness.



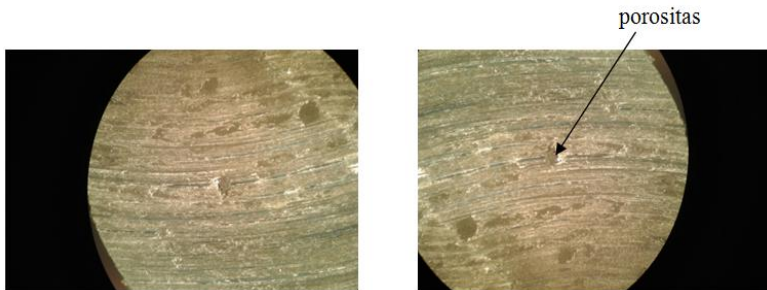
Gambar 4.7. grafik nilai rata-rata uji keausan.

Dari gambar 4.1. dapat dilihat tren grafik nilai rata-rata kekerasan spesimen pada penelitian kali ini memiliki nilai yang cenderung meningkat dari prosentase 0%-15%, namun pada prosentase 20%-25% mengalami penurunan nilai rata-rata kekerasan.

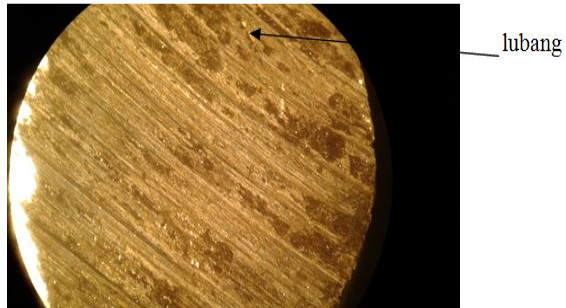
Pada gambar 4.2. dapat dilihat nilai laju keausan dari spesimen penelitian. Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai laju keausan mengalami penurunan mulai dari prosentase 0%-15% dan terjadi peningkatan pada prosentase 20%-25%. Dari grafik dapat dilihat bahwa semakin kecil laju keausan maka semakin besar ketahanan aus material karena nilai ketahanan aus mempunyai nilai yang berbanding terbalik dengan laju keausan.

4.4. Pengamatan Permukaan Hasil pengujian Keausan

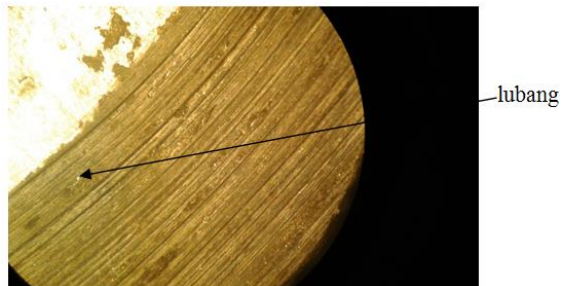
Setelah dilakukan pengujian keausan dengan alat tribometer dengan metode *pin on disk* didapatkan gambar setelah pengujian dengan penampang hasil pengujian adalah sebagai berikut



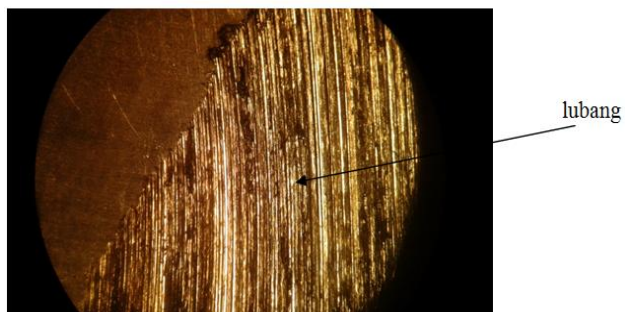
Gambar 4.8. aluminium murni.



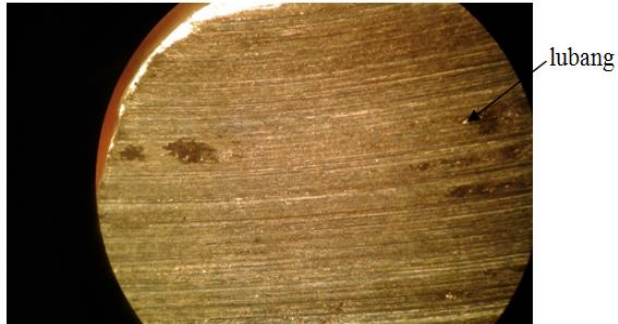
Gambar 4.9. aluminium abu terbang fraksi volume 10 %.



Gambar 4.10. aluminium abu terbang fraksi volume 15 %.



Gambar 4.11. aluminium abu terbang fraksi volume 20 %.



Gambar 4.12. aluminium abu terbang fraksi volume 25 %.

Dapat dilihat dari gambar diatas tampak bentuk permukaan hasil pengujian keausan yang dilakukan. Dari gambar dapat terlihat adanya lubang baru yang terbentuk dari lepasnya penguat dari matriks.

BAB V

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

5.1. Uji Komposisi Kimia Aluminium

Dari hasil uji komposisi kimia yang dilakukan dengan metode pengujian spektrometri didapatkan hasil seperti pada tabel 4.1. bahwa aluminium yang digunakan memiliki kadar aluminium sebesar 99% dimana aluminium jenis ini disebut seri 1. selain aluminium ada juga senyawa penyusun lain seperti Fe 0,0833% , Si 0,463% , Mg 0,327% , Ti 0,0135% , Cu 0,006% dan Ni 0,0046%. Dengan komposisi kimia seperti diatas maka dapat dianggap tidak berpengaruh besar terhadap ikatan antara aluminium dan abu terbang.

5.2. Analisa Struktur Mikro Akhir Dari Adanya Penambahan Volume Abu Terbang Fraksi Volume Pada *Alluminium Matrix Composite*.

Dari gambar 4.1.-4.5. dapat diketahui bahwa semakin besar prosentase abu terbang yang ditambahkan ke dalam aluminium matriks komposit maka semakin banyak pula abu terbang yang terlihat pada gambar. Pada gambar juga terlihat bagaimana pesebaran dari abu terbang pada aluminium matriks komposit tersebar cukup merata. Dimana aluminium ditandai dengan warna abu-abu keputihan dan abu terbang dengan warna kehitaman berbentuk bulat.

Disamping adanya aluminium dan abu terbang juga terdapat ikatan Al-Fe dan porositas yang terbentuk pada spesimen. Porositas yang terjadi pada spesimen dikarenakan adanya udara yang terperangkap pada saat proses pembuatan aluminium matriks komposit dan lubang akibat abu terbang yang terlepas dari spesimen pada saat proses *grinding* dan *polishing*. Hal lain yang menyebabkan adanya lubang disebabkan abu terbang dengan densitas yang tinggi memiliki kemampuan perekat yang rendah dan kemampuan mengendap yang lebih besar^[4].

Selain adanya porositas juga terdapat ikatan *intermetalik* Al-Fe pada spesimen. Ikatan ini dapat dilihat pada gambar 4.1. – 4.5. dimana ikatan Al-Fe ini dapat disebabkan dari aluminium sendiri, dimana kandungan Fe pada aluminium sebesar 0,0833% dan kandungan Fe₃ pada abu terbang^[1]. Ikatan ini juga dapat terbentuk dari reaksi oksidasi *laddle*, dimana *laddle* yang digunakan terbuat dari besi. Besi yang digunakan bersentuhan langsung dengan udara akan mengalami reaksi oksidasi yang menyebabkan terbentuknya karat besi. Karat besi ini memiliki sifat yang rapuh, jadi pada saat *laddle* digunakan untuk mencairkan aluminium maka karat besi akan terlepas dari *laddle* lalu bercampur dan membentuk ikatan Al-Fe pada aluminium matriks komposit.

5.3. Pengaruh Penambahan Penguat Abu Terbang Terhadap Nilai Kekerasan dan Laju Keausan Aluminium Matriks Komposit

Pengujian kekerasan menggunakan metode Brinell dengan menggunakan mesin uji FRANK. Indentor yang dipakai adalah bola baja dengan diameter 2,5 mm. pembebanan yang diberikan adalah 31,75 KP. Spesimen uji hardness berbentuk tabung berdiameter 30 mm dan tinggi 10 mm. Untuk titik pengujian berjumlah 5 titik per variasi fraksi volume dan ukuran butiran. Didapatkan tren grafik yang meningkat dari prosentase 0%-15% dan terjadi penurunan pada prosentase 20%-25%. pada prosentase abu terbang 0% memiliki nilai kekerasan sebesar 23,87 BHN. Terjadi peningkatan nilai kekerasan pada prosentase abu terbang 10% sebesar 32,5 BHN. Dimana nilai kekerasan tertinggi dimiliki prosentase abu terbang 15% dengan nilai 39,01 BHN. Pada gambar 4.6. dapat terlihat mulai terjadi penurunan pada prosentase abu terbang 20% dengan nilai 29,54 BHN. Dan terjadi penurunan lagi pada prosentase abu terbang 25% dengan nilai kekerasan sebesar 26,5 BHN.

Peningkatan nilai kekerasan yang lebih baik dari nilai kekerasan matriks ini disebabkan oleh adanya ikatan yang

terbentuk antara matriks aluminium dan penguat abu terbang. Dimana abu terbang yang memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dari pada matriks aluminium akan membatasi pergerakan dislokasi pada matriks saat diberikan beban indentasi sehingga dapat meningkatkan nilai kekerasan dari aluminium matriks komposisi^[4]. Transfer beban yang terjadi antara matriks dan penguat terjadi disebabkan terbentuknya area baru yang terbentuk antara matriks dan penguat, dimana area ini disebut dengan daerah *interface*^[4]. *Interface* yang terbentuk ini sangat berperan penting untuk mendistribusikan beban antara matriks dan penguat^[1]. *Interface* dapat terbentuk dengan baik apabila memiliki kemampubasahan (*wettability*) yang baik. Kemampubasahan adalah kemampuan dari cairan untuk menyebar di permukaan solid.^[4]

Selain *interface* dan kemampubasahan, ikatan yang terbentuk antara matriks dan penguat juga berpengaruh dalam penentuan sifat mekanik pada *aluminium matrix composite*. Ikatan sendiri dibagi menjadi *mechanical* dan *chemical bonding*^[1]. *Mechanical bonding* adalah ikatan yang terjadi secara mekanik. Ikatan secara mekanik ini terjadi dikarenakan adanya kekasaran pada permukaan penguat sehingga menimbulkan penguncian dan berikatan secara mekanik^[1]. Matriks aluminium yang memiliki *coefficient of thermal* yang lebih tinggi daripada penguat^[4]. Menyebabkan terjadinya pengikatan secara mekanik dari matriks ke penguat selama proses pendinginan.



Gambar 5.1. ilustrasi bentuk partikel abu terbang^[1].

Pada literatur sebelumnya disebutkan bahwa pada suhu 850°C abu terbang akan berubah menjadi partikel diskrit dimana partikel ini mudah untuk mengendap dan mengalami reaksi kimia. Disebutkan juga pada suhu 850°C menyebabkan terjadinya pengurangan progresif antara SiO_2 , Fe_2O_3 dan fase lain dari abu terbang oleh Al dan membentuk Al_2O_3 ^[4]. Reaksi ini akan menyebabkan hancurnya dinding *cenosphere* menyebabkan berubahnya abu terbang menjadi partikel diskrit^[4]. Partikel diskrit ini adalah partikel yang mengendap dengan sendirinya tanpa adanya interaksi antar partikel^[1]. Dengan adanya ikatan kimia dan mekanik yang baik maka akan membantu terbentuknya ikatan yang baik antara matriks dan penguat sehingga dapat mentransfer beban dengan baik.

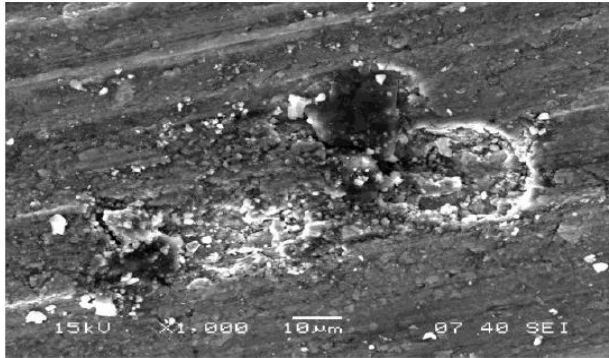
Adanya kenaikan nilai kekerasan dibanding dengan nilai kekerasan matriks ini menunjukkan adanya pengaruh dari penambahan abu terbang ke dalam aluminium yang menyebabkan nilai kekerasan aluminium matriks komposit naik dari matriksnya. Penyebab dari hal ini adalah adanya ikatan mekanik dan ikatan kimia yang membantu proses dari pembentukan ikatan antara matriks dan penguat yang mentransfer beban yang terjadi dari matriks menuju ke penguat dan menghalangi proses dislokasi pada matriks.

Sedangkan pada kasus terjadinya penurunan nilai kekerasan pada prosentase 20% dan 25% dibandingkan dengan prosentase 10% dan 15%. Hal ini dikarenakan sifat abu terbang yang akan menjadi partikel diskrit pada suhu 850°C dan menyebabkan abu terbang mudah mengendap ^[4]. Sehingga ketika dilakukan pengujian *hardness* pada permukaan spesimen, nilai *hardness* yang didapatkan tidak maksimal dikarenakan penguat yang memiliki sifat lebih keras tidak dapat menghalangi dislokasi partikel yang terjadi pada matriks aluminium. Selain itu, penurunan nilai kekerasan dapat juga disebabkan oleh adanya lubang baru yang terbentuk pada permukaan spesimen karena adanya proses *grinding* dan *polishing*. Lubang yang terbentuk di sekitar pemberian beban indentasi, menyebabkan dislokasi yang

terjadi menjadi lebih besar sehingga nilai kekerasan menjadi lebih rendah.

Pada pengujian keausan dengan menggunakan disk dengan nilai kekasaran $0,74\text{ }\mu\text{m}$ dan pin dengan nilai kekasaran $1,21\text{ }\mu\text{m}$ dapat lihat dari gambar 4.7. bahwa nilai laju keausan yang terjadi berbanding terbalik dengan nilai kekerasan, dapat dilihat dari gambar 4.6. dan gambar 4.7. Dimana semakin tinggi nilai kekerasan dari spesimen maka semakin kecil nilai laju keausan pada spesimen tersebut. Abu terbang yang memiliki nilai kekerasan yang lebih baik dari aluminium yang menyebabkan meningkatnya nilai kekerasan menyebabkan semakin kecilnya laju keausan pada aluminium matriks komposit dibandingkan dengan nilai laju keausan matriksnya^[4]. Pada awal proses pengujian keausan partikel penguat berperan sebagai penerima beban dan pencegah terjadi *plastic deformation*^[4]. Selain itu adanya *cenosphere* pada partikel abu terbang akan mengecilkan koefisien gesekan dengan menyediakan point kontak antara pin dan disk, Maka koefisien gesek akan semakin kecil dengan bertambahnya prosentase abu terbang^[4].

Pada gambar 4.8. sampai gambar 4.12. dapat dilihat adanya lubang yang muncul pada permukaan spesimen hasil pengujian. Pada literatur disebutkan bahwa pada permukaan hasil pengujian keausan akan terjadi pelepasan penguat dari matriks dan menyebabkan penguat yang lepas dari matriks ini akan memotong matriksnya^[4].



Gambar 5.2. Hasil foto SEM pada permukaan spesimen hasil pengujian keausan^[4].

Dari gambar 4.2. dapat dilihat bahwa nilai laju keausan semakin kecil, dari prosentase 0% kemudian terjadi penurunan laju keausan pada prosentase 10% dan penurunan laju keausan paling besar terjadi pada prosentase 15%. Namun pada prosentase 20% dan 25% terjadi peningkatan laju keausan kembali. Peningkatan ini terjadi karena lepasnya partikel dari penguat abu terbang dari matriks aluminium. Yang dapat dilihat Pada gambar 4.8. sampai gambar 4.12. dapat dilihat adanya lubang yang muncul pada permukaan spesimen hasil pengujian. Pada literatur disebutkan bahwa pada permukaan hasil pengujian keausan akan terjadi pelepasan penguat dari matriks dan menyebabkan penguat yang lepas dari matriks ini akan menambah keausan pada spesimen^[4]. Penguat yang terlepas akan menambah pengurangan massa pada spesimen disebabkan terperangkapnya partikel penguat diantara disk dan pin yang menyebabkan terjadinya ploughing atau memotong permukaan pin^[4]. Hal lain yang menyebabkan semakin besarnya laju keausan ini adalah dengan semakin besarnya penguat yang digunakan maka penguat abu terbang yang berkumpul akan semakin besar. Hal ini menyebabkan pengurangan massa yang terjadi saat pelepasan penguat semakin besar.

LAMPIRAN

DATA HASIL PENGUJIAN

[illegible]

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan rangkaian percobaan dan analisa data maka diperoleh beberapa kesimpulan dari penelitian tugas akhir yang dapat dijabarkan sebagai berikut :

- a. Dengan penambahan abu terbang fraksi volume pada matriks akuminium, pada struktur mikro terlihat jumlah abu terbang yang terus meningkat dan merata pada permukaan aluminium matriks komposit.
- b. Penambahan fraksi volume abu terbang terhadap aluminium matriks komposit menaikkan nilai kekerasannya dibandingkan dengan nilai kekerasan matriksnya. Dari pengujian didapatkan nilai kekerasan mengalami peningkatan pada prosentase 10% dan 15% dan mengalami penurunan pada prosentase 20% dan 25%. Penurunan ini disebabkan partikel abu terbang yang menjadi partikel diskrit yang mengendap dan adanya porositas.
- c. Penambahan fraksi volume abu terbang terhadap aluminium matriks komposit menurunkan laju keausan dibandingkan dengan laju keausan matriksnya. Dari pengujian didapatkan nilai laju keausan mengalami penurunan pada prosentase 10% - 15% dan mengalami kenaikan pada prosentase 20% dan 15%. Kenaikan laju keausan ini disebabkan lepasnya partikel abu terbang dari matriksnya dan penguat yang terlepas dari matriks akan terperangkap dipermukaan gesek yang akan menimbulkan keausan yang baru. Dari gambar 4.7. dapat dilihat bahwa semakin kecil laju keausan maka semakin besar ketahanan aus material karena nilai ketahanan aus mempunyai nilai yang berbanding terbalik dengan laju keausan.

6.2. Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah :

- a. Sebelum mencampurkan penguat ke dalam matriks hendaknya penguat dipanaskan terlebih dahulu.
- b. Menambahkan Mg dan Si untuk meningkatkan kemampubasahan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sugandika, Tunjung. 2013. *Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Penambahan Fraksi Volume Abu Terbang (Fly Ash) terhadap Karakteristik Sifat Mekanik Aluminium Matrix Composite*. Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [2] H.C. Anilkumar, H.S. Hebbar and K.S. Ravishankar. 2010. *MECHANICAL PROPERTIES OF FLY ASH REINFORCED ALUMINIUM ALLOY (Al6061) COMPOSITES*. National Institute of Technology Karnataka.
- [3] Gunawan Dwi Haryadi. 2006. *Pengaruh Penambahan Fly Ash Melalui Proses Separasi Iron Oxide dan Coal Terhadap Keausan Aluminium*. Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP.
- [4] Suvendhu Tripathy. 2009. *Study On Aluminium Fly Ash Composite Produced By Impeler Mixing*. Department of Metallurgical And Materials Engineering National Institute of Technology Rourkela.
- [5] Agus Hariono, Jothan. 2013. *Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Kadar Grafit terhadap Karakteristik Sifat Mekanik Aluminium Graphite Matrix Composite*. Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [6] http://dspace.uniroma2.it/dspace/bitstream/2108/868/3/C_hapter+1.pdf.
- [7] Gikunoo Emmanuel, “*Effect of Fly Ash Particles on the Mechanical Properties and Microstructure of Aluminium Casting Alloy A535*”, 2004.
- [8] William D. Callister, Jr., “*ASM Specially Handbook. Aluminium & Aluminium Alloys*”, Ohio, 1992.

- [9] [Sakti Khairul, “Pembuatan Komposit Metal Al Alloy Nano Keramik SiC dan Karakterisasinya”, Sekolah Pasca Sarjana Universitas Sumatera Utara, 2009.](#)
- [10] Haidar, D, M. 2011. *Fly Ash (Abu Terbang)*. Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil. Bandung.
- [11] Mortensen A., Sanmarchi C., Degischer H.P., “*Glossary of terms spesific to Metal Matrix Composites – MMC – Assess Thematic Network*”, Volume 1.
- [12] Karl Ulrich Keiner, “*Basic of Metal Matrix Composites*”.
- [13] Masudah. 2010. **Macam-Macam Metode Sintesis**. <URL:<http://masudahkusuma.blogspot.com/2011/10/macam-macam-metode-sintesis-untuk-suatu.html>>
- [14] **Kekerasan Silica Carbide (SiC)**.
<URL:http://www.reade.com/Products/Carbides/silicon_carbide.html>
- [15] Behera, R. Chatterjee, D. Sutradhar, G. 2012. *Effect of Reinforcement Particles on the Fluidity and Solidification Behavior of the Stir Cast Aluminum Alloy Metal Matrix Composites*.
- [16] **Kekerasan Alumina (Al_2O_3)**.
<URL:<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=3382>> diakses pada 3 November 2013.
- [17] **Kekerasan Besi Oksida (Fe_2O_3)**.
<URL:<http://www.reade.com/products/35-oxides-metallic-powders/178-ferric-oxide-crystalline-fe2o3-specular-hematite-specular-red-iron-oxide-specularite-alaska-black-diamond-specular-jewelers-rouge-iron-oxide-ferric-oxide-rouge-ferric-oxide-red-iron-oxide-ci-77491-iron-oxide-properties-fe2o3>> diakses pada 3 November 2013.
- [18] Solichin, M. 2012. *Study Eksperimental Laju Keausan (Specific Wear Rate)Antara Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) Dengan Stainless Steel Sebagai Sendi Lutu Buatan (Total Knee Replacement Prosthesis)*

Manusia. Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

[19]

http://www.sciencephoto.com/image/9120/350wm/A6500097-SEM_of_flyash,_an_atmospheric_pollutant-SPL.jpg
akses tanggal 30 desember 2014.

[20]

Chawla, Nikilesh. 2006. *Metal Matrix Composite*. Arizona State University, Tempe, Springer

BIODATA PENULIS



Hendra Dwi Wijaya dilahirkan di kota Kediri pada tanggal 03 januari 1991. Anak kedua dari dua bersaudara. Riwayat pendidikan penulis dimulai di TK Dharma Wanita desa Wates (1995-1997), SDN 2 Wates (1997-2003), SMPN 1 Wates (2003-2006), SMAN 7 Kediri (2006-2009), dan dilanjutkan di Jurusan Teknik Mesin Institut

Teknologi Sepuluh Nopember melalui SNMPTN reguler.

Dibesarkan di keluarga yang berlatar belakang pendidikan yaitu ayah tamatan SD dan ibu tamatan SMP membuat penulis ingin membuktikan kalau penulis sanggup untuk menuntut pendidikan tinggi dan dapat dapat menjadi anak yang cerdas dan terampil agar nantinya penulis dapat membahagiakan orang tua penulis. Penulis ingin setelah lulus dari perguruan tinggi, penulis dapat memanfaatkan ilmu yang didapat agar berguna untuk masyarakat luas.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)